

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Институт горного дела, геологии и геотехнологий  
институт  
Горные машины и комплексы  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой МЦМ  
\_\_\_\_\_ А.В. Гилев  
подпись инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

151000.62.00.06 Металлургические машины и оборудование  
код – наименование направления

«Повышение эффективности технологического процесса сборки и монтажа  
мостового крана грузоподъемностью 20 т»  
тема

Руководитель ст. преподаватель \_\_\_\_\_ А.Ю.Стовманенко  
должность, ученая степень подпись, дата инициалы, фамилия

Выпускник \_\_\_\_\_ Е.В.Лузянин  
подпись, дата инициалы, фамилия

Красноярск 2016

Федеральное государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт горного дела, геологии и геотехнологий  
Кафедра «Горные машины и комплексы»

**ЗАДАНИЕ**  
**на выпускную квалификационную работу**  
**в форме дипломного проекта**

1 Тема выпускной квалификационной работы: «Повышение эффективности технологического процесса сборки и монтажа мостового крана грузоподъемностью 20 т»

2 Утверждена приказом по университету № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

3 Дата выдачи задания 15 мая 2016

4 Срок сдачи студентом законченной работы     .    .2016

5 Исходные данные к ВКР (перечень основных материалов, собранных в период преддипломной практики или выданных руководителем):

Технологические и должностные инструкции; инструкции по работе с основным и вспомогательным оборудованием; паспорта основного и вспомогательного оборудования; журнал приема-сдачи смен ремонтной службы; технологическая схема; схема электроснабжения; график ППР; инструкции по охране труда.

6 Перечень вопросов, рассматриваемых в выпускной квалификационной работе: Технология алюминиевого производства; основное механическое оборудование литейного производства; металлургические подъемно-транспортные машины; эксплуатация и ремонт металлургического оборудования; «Повышение эффективности технологического процесса сборки и монтажа мостового крана грузоподъемностью 20 т».

7 Перечень графического материала с указанием основных чертежей и (или) иллюстративного материала: СБ барабан мостового крана грузоподъемностью 20 т; СБ главная балка мостового крана; общий вид мостового крана; общий вид тележка мостового крана; схема монтажа; спец. Часть.

## Содержание

|  |    |
|--|----|
| Введение.....  | 6  |
| Транспортно-технологическая схема производства алюминия...   | 7  |
| 1. Конструкция и расчет параметров крана грузоподъемностью 20 т  |    |
| 1.1. Конструкция и характеристики крана  |    |
| 1.2. Расчет параметров мостового крана   |    |
| 1.2.1. Разработка схемы полиспаста и выбор кинематической схемы механизма  |    |
| 1.2.2. Выбор крюковой подвески   |    |
| 1.2.3. Определение основных параметров барабана  |    |
| 1.2.4. Расчет крепления каната на барабане   |    |
| 1.2.5. Выбор электродвигателя  |    |
| 1.2.6. Выбор редуктора   |    |
| 1.2.7. Выбор муфт  |    |
| 2. Монтаж и сборка мостового крана грузоподъемностью 20 т.....   | 11 |
| 2.1. Проверка подкрановых путей и рельсов  |    |
| 2.2. Укрупнение сборочных единиц мостового крана   |    |
| 2.3. Технология монтажа  |    |
| 2.4. Контроль качества монтажа   |    |
| 3. Эксплуатация и ремонт металлургического оборудования.....   | 25 |
| 3.1. Транспортно-технологическая схема производства алюминия   |    |
| 3.2. Определение количества и видов ремонтов   |    |
| 3.3. Расчёт численности ремонтного персонала   |    |
| 3.4. Расчёт станочного оборудования  |    |
| 3.5. Проектирование ремонтной базы   |    |
| 3.6. Выбор схемы ремонтной базы  |    |
| 3.7. Определение параметров пролета здания ремонтной базы  |    |
| 3.8. Управление механической службой...  |    |
| 4. Повышение эффективности монтажа мостового крана.....  | 35 |
| 4.1. Внедрение способа выверки лазерным датчиком   |    |
| 4.2. Внедрение лазерного дальномера для выверки подкрановых путей  |    |
| 4.2.1. Физические основы измерений и принцип действия  |    |
| 4.3. Внедрение системы вибродиагностической диагностики подшипниковых узлов и механического оборудования           |    |
| 4.3.1. Особенности вибродиагностики подшипниковых узлов скольжения и качения металлургических машин и оборудования |    |
| 4.3.2. Методы диагностики дефектов подшипников   |    |

|  |    |
|--|----|
| 4.3.3. Диагностика по спектрам вибросигналов                                   |    |
| 4.3.4. Диагностика подшипников по спектрам огибающей                           |    |
| 4.3.5. Неправильная установка подшипника                                       |    |
| 4.3.6. Эллипсность шейки вала  |    |
| 4.3.7. Замеры вибрации   |    |
| 4.3.8. Виды диагностического измерения и исследования вибрации оборудования    |    |
| 4.3.9. Этапы проведения виброизмерений   |    |
| 4.3.10. Вибродиагностическое оборудование                                      |    |
| 4.3.10.1. Простейшие средства измерения и анализа вибрации                     |    |
| 4.3.10.2. Стационарные системы мониторинга и диагностики                       |    |
| 4.3.10.3. Портативные системы мониторинга и диагностики                        |    |
| 5. Правила безопасности при проведении грузоподъемных и монтажных работ.....   | 78 |
| 6. Расчет экономических показателей монтажа электрооборудования крана 20т..... | 82 |
| 6.1. Построение сетевого графика монтажа электрооборудования                   |    |
| 6.2. Расчет параметров сетевого графика  |    |
| 6.3. Смета капитальных затрат на приобретение и монтаж электрооборудования     |    |
| 6.3.1. Построение таблицы капитальных затрат                                   |    |
| 6.3.2. Расчет прочих расходов  |    |
| 6.3.2.1. Расчет транспортных расходов  |    |
| 6.3.2.2. Расчет 6 % накопления от монтажных работ                              |    |
| 6.3.2.3. Расчет накладных расходов   |    |
| 6.3.2.4. Расчет сметной стоимости  |    |
| 6.3.2.5. Расчет трудоемкости и численности электромонтажников                  |    |
| 6.3.2.6. Расчет численности электромонтажников                                 |    |
| 6.3.2.7. Расчет фонда оплаты труда электромонтажников                          |    |
| 6.3.2.8. Расчет эксплуатационных затрат...                                     |    |
| 6.3.2.9. Расчет расходов на текущий ремонт электрооборудования                 |    |
| 6.3.2.10. Расчет численности и фонда оплаты труда эксплуатационного персонала  |    |
| 6.3.2.11. Расчет фонда оплаты труда дежурных электриков                        |    |
| 6.3.2.12. Расчет социального налога  |    |

Заключение

Список литературы

## Введение

Развитие современного производства непосредственно связано с комплексной механизацией основных производственных процессов, что обуславливает широкое применение большого количества различных видов грузоподъемного, транспортного и погрузочного оборудования.

Подъемно-транспортные машины являются технологическим звеном металлургического производственного процесса, связывающим в единую технологическую цепь основное оборудование.

Надежность подъемно-транспортного оборудования влияет на ход производственного процесса и во многом определяет качество конечной продукции и эффективность всего производства.

Монтаж и сборка подъемно-транспортного оборудования – сложная и трудоемкая работа. Сроки и качество его сборки и монтажа влияют на сроки реконструкции и ввода промышленного объекта в эксплуатацию.

Продолжительность и качество сборки и монтажа подъемно-транспортного оборудования зависят от ряда причин, к главным из которых относятся уровень индустриализации, организация и технология монтажных работ а также квалификация рабочих и инженерно-технических работников.

Краны являются сложными техническими системами, большой единичной производительности, работающими в условиях интенсивного нагружения и неблагоприятной окружающей среды. В состав кранов входят десятки машин, единиц узлов и деталей, поэтому нахождение оборудования в работоспособном состоянии является величиной случайной.

Высокие показатели надежной и длительной работы подъемно-транспортного оборудования обеспечиваются как правильным выбором и расчетом его основных параметров, так и обеспечением качественной сборки и монтажа основных узлов и механизмов. Срок службы машин, деталей и узлов также напрямую зависит от качества сборки и монтажа.

Неизбежные погрешности при монтаже, при некачественном его выполнении и контроле приводят в дальнейшем к простоям оборудования и экономическим потерям.

# 1. Транспортно-технологическая схема производства алюминия

Основные производственные процессы в корпусах электролиза на Красноярском алюминиевом заводе полностью механизированы. На производство 1 т алюминия расходуется более 2,5 т различного сырья и материалов, поэтому транспортно-технологическая схема (ТТС) завода обусловлена масштабами производства и номенклатурой выпускаемой продукции. ТТС охватывает основные (электролизные, глиноземные и электродные), ремонтные и вспомогательные цехи, но из этого большого и сложного хозяйства рассмотрим только часть, касающуюся электролитического производства алюминия.

Технический уровень транспортно-технологических схем электролизных цехов определяется типом, производительностью и конструкцией основного технологического оборудования — электролизеров. В настоящее время погрузо-разгрузочные операции (ПРО) и внутризаводские перевозки сырья и материалов в основном механизированы и частично автоматизированы, но для выполнения ряда операций используется еще немало ручного труда.

Упрощенная ТТС электролитического производства алюминия с применением электролизеров с СОА приведена на рисунке 1.1.

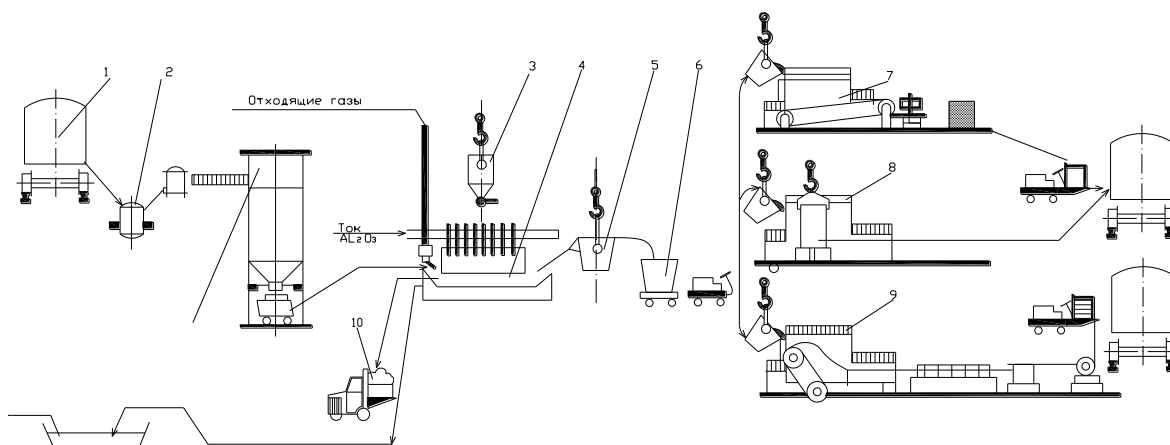


Рисунок 1.1 – Транспортно-технологическая схема производства алюминия

1 — вагон (цистерна); 2 — пневмоподъемник; 3 — подача анодной массы; 4 — электролизер; 5 — вакуум-ковш; 6 — литейный ковш; 7 — разливка алюминия в чушки; 8 — литье слитков; 9 — производство катанки; 10 — угольная пена;

Основные операции по обслуживанию электролизеров занимают 40—45 % общего баланса времени, а выполнение немеханизированных операций, которые перечислены выше, — 25—35 % времени и в значительной степени зависят от типа электролизеров, их расположения и конструкции корпусов.

Доставка глинозема в бункеры электролизеров или на корку электролита полностью механизирована на всех типах ванн. Электролизеры ОА

оборудованы системами автоматической подачи глинозема в электролит АПГ, которые позволяют регулировать концентрацию глинозема в электролите, что резко снижает частоту анодных эффектов, экономит затраты труда и снижает расход электроэнергии.

Полностью механизирована доставка анодной массы и пробивка корки электролита на всех типах ванн, для выполнения которой используют машины и механизмы различных конструкций.

Практически все операции по перестановке штырей на ваннах с СОА механизированы. Также полностью механизированы операции по загрузке анодной массы на электролизерах с СОА.

Используемое сырье мелкодисперсно, и часть его распыляется и оседает на полу производственных помещений и поверхностях оборудования. Для механизации сбора дорогостоящего сырья с пола корпуса, площадь которого достигает 1,5—2,0 га, используют самоходные пылеуборочные машины, производительность которых при уборке пола корпусов и заводской территории достигает 6750 и 13 500 м<sup>2</sup>/ч соответственно.

В настоящее время единственным способом извлечения жидкого алюминия из ванны является вакуумная выливка. Применяемый для этой цели вакуум-ковш (рисунок 1.2) представляет собой герметичный сосуд в форме усеченного конуса, футерованный изнутри огнеупорным материалом.

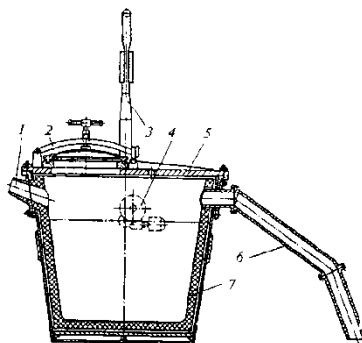


Рисунок 1.2 – Вакуум-ковш

1 - сливной носок; 2 - люк; 3 - траверса; 4 - поворотный механизм; 5 - крышка; 6 — заборная труба; 7 — футеровка

На грузовой траверсе ковша крепится механизм его поворота. Заборная труба соединена с ковшом шаровой опорой, которая предотвращает до некоторой степени поломку носков при ударах. Разрежение в ковше создается вакуум-линией, с которой ковш соединяют шлангами. Емкость вакуум-ковшей составляет 5 т, что позволяет проводить выливку металла из двух ванн в один ковш. Технологически это неудобно но дает заметное снижение нагрузки на мостовые краны которые всегда загружены. Затем с помощью трактора «Беларусь» жидкий металл отвозят на специальных тележках грузоподъемностью до семи тонн в миксера которые находятся в литейном отделении.

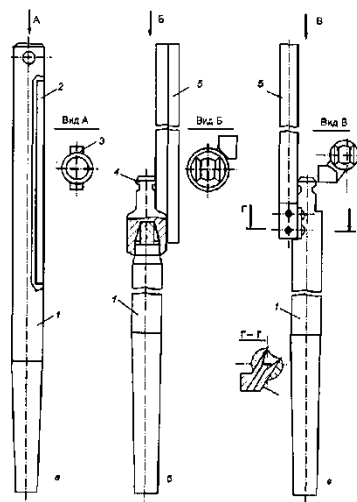


Рисунок 1.3 – Токоподводящие штыри.

а — сталемедный; б — сталеалюминевый, соединенный контактной сваркой; в — сталеалюминевый, соединенный сваркой взрывом; 1 — стальной стержень; 2 - медная рубашка; 3 — чека; 4 — головка штыря; 5 — алюминиевая штанга

Перестановка анодных штырей. Одной из наиболее важных операций на электролизерах ВТ является перестановка анодных штырей, конструкция которых представлена на рисунке 1.3. Штыри расположены в аноде в четыре ряда на нескольких горизонтах. При обычной технологии анода штыри, как правило, располагают на двух горизонтах, а при использовании технологии "сухого" и "полусухого" анода — на 12—18 горизонтах. Извлечение штыря из анода и установка их на верхний горизонт осуществляются мостовым штыревым краном. Для этого на тележке крана (рисунок 1.4) смонтирована шахта, сквозь которую проходит штанга с укрепленным на конце захватом. Штанга поднимается и опускается механизмом, закрепленным на тележке, и поворачивается на  $120^\circ$  механизмом поворота, размещенным в шахте. На головку штыря, подлежащего извлечению, надевают захват, разворачивают штырь, извлекают его из анода и устанавливают в кассету. Остывшие и очищенные штыри с помощью той же штанги размещают на верхний горизонт. Прижим штырей к анодной раме осуществляют зажимами, управление которыми выполняют вручную специальными ключами. Извлеченные штыри подвергают чистке от окалины и потеков массы, для чего используют переносные станки.

Замену секций газосборного колокола производят электропогрузчиком.



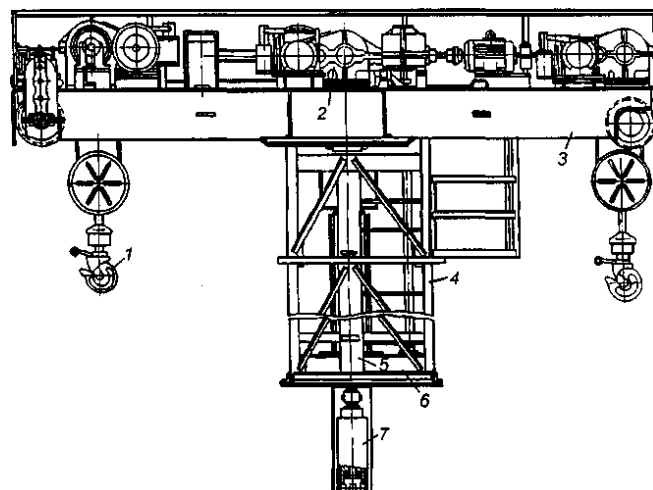


Рисунок 1.4 – Тележка штыревого крана

1 — грузоподъемный крюк; 2 — механизм перемещения штанги; 3 — рама тележки; 4 — шахта; 5 — штанга; 6 — механизм поворота штанги; 7 — головка штанги.

**Загрузка анодной массы.** Загрузку анодной массы проводят один раз в 5—8 суток. Более редкая загрузка ухудшает формирование анода. На заводе используют мелкобрикетную анодную массу (вес брикета не превышает 0,2 кг), используя для этого саморазгружающийся бункер. Бункер, загруженный брикетами, транспортируют мостовым краном и устанавливают упорами на анодный кожух электролизера. При опускании крюка крана под действием массы траверсы и анодных брикетов створки днища открываются и брикеты высыпаются в анод.

## 2. Конструкция и расчет параметров крана грузоподъемностью 20 т

### 2.1 Конструкция и характеристики крана

Конструкция подъемно-транспортных машин непрерывно совершенствуется, в связи, с чем возникают новые задачи по расчету, проектированию, исследованию и выбору оптимальных параметров машин, обеспечивающих высокие технико-экономические показатели и качество машин.

Двухбалочный мостовой кран опорного типа грузоподъемностью  $Q = 20$  т (рисунок 2.1) имеет мост, состоящий из двух главных пролетных балок 2 и соединенных с ними концевых балок 1. По верхнему поясу главных балок моста смонтированы тележечные рельсы 4, по которым перемещается крановая тележка 5 в направлении, перпендикулярном направлению движения крана.

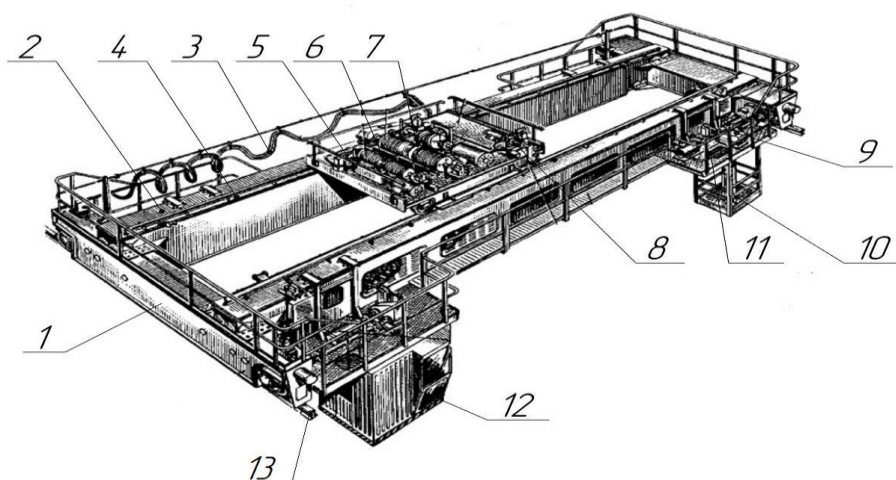


Рисунок 2.1 – Мостовой кран  $Q = 20$  т

Тележка снабжена механизмом главного подъема 7, привод включает электродвигатель, редуктор, муфту, тормоз и барабан. Также тележка снабжена механизмом передвижения по мосту крана, который включает электродвигатель, тормоз, муфту и приводные колеса.

Кран перемещается вдоль цеха при помощи механизма передвижения, привод которого аналогичен приводу передвижения крановой тележки. Колеса крана смонтированы в концевых балках и опираются на рельс 13. Приводы ведущих колес крана установлены на площадках 11.

Характеристики мостового крана грузоподъемностью  $Q = 20$  т сведены в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Характеристика мостового крана Q = 20 т

| Наименование параметра             | Величина параметра |
|------------------------------------|--------------------|
| 1 Кран:                            |                    |
| грузоподъемность, т                | 20                 |
| пролет, мм                         | 28500              |
| база, мм                           | 7100               |
| ширина крана, мм                   | 9000               |
| высота крана, мм                   | 4584               |
| высота моста, мм                   | 1912               |
| группа режима работы               | A6                 |
| 1.1 Механизм передвижения крана:   |                    |
| скорость передвижения, м/с         | 1,695              |
| число ходовых колес                | 4                  |
| диаметр ходовых колес, мм          | 560                |
| группа режима работы               | M7                 |
| 2 Тележка:                         |                    |
| колея, мм                          | 2500               |
| база, мм                           | 4150               |
| высота тележка, мм                 | 2672               |
| 2.1 Механизм передвижения тележки: |                    |
| скорость передвижения, м/с         | 0,576              |
| число ходовых колес                | 4                  |
| диаметр ходовых колес, мм          | 400                |
| группа режима работы               | M7                 |

## 2.2 Расчет параметров мостового крана

Исходные данные:

Кран предназначен для работы в ремонтно-механическом цехе.

Наибольшая масса поднимаемого груза 20 т. Грузозахватное устройство, крюк.

Навесное оборудование при подъеме максимального груза не используется.

Длина пролета моста –28,5м. Высота подъема 25м.

Кран предназначен для перемещения грузов, не относящиеся к категории опасных. Двигатели механизмов работают на трехфазном токе, напряжением 380 В.

Мост крана имеет двухбалочную конструкцию с опорной крановой тележкой, на которой установлен механизм подъема.

Условия работы крана и подъемного механизма представлены на графиках действительной загрузки (рисунок 2.2).

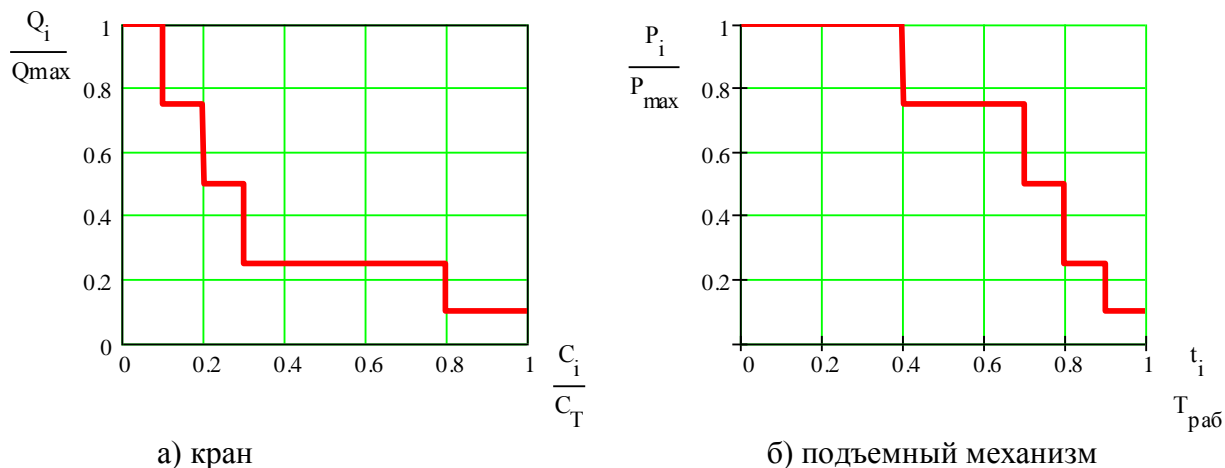


Рисунок 2.2 – Графики действительной загрузки

### 2.2.1 Разработка схемы полиспаста и выбор кинематической схемы механизма

Согласно рекомендации для машин грузоподъемностью 20000 кг кратность полиспаста  $i_n$  равна 3.

Полиспаст сдвоенный трехкратный с непосредственной навивкой на барабан.

Коэффициент полезного действия крановых полиспастов для подшипников качения  $\eta_n$  равен 0,98. Выбираем кинематическую схему полиспаста:

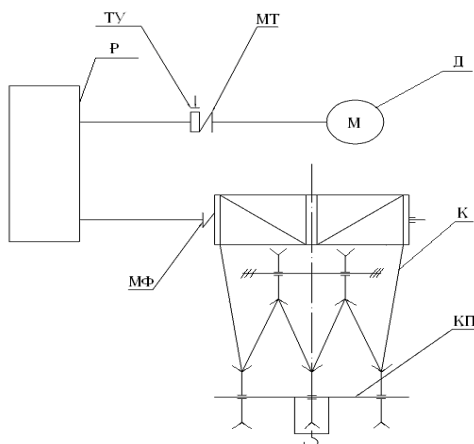


Рисунок 2.3 – Кинематическая схема механизма подъема

Таблица 2.2 – Перечень элементов кинематической схемы

| Поз. обозначение | Наименование                      | Кол. | Примечание              |
|------------------|-----------------------------------|------|-------------------------|
| Б                | Барaban                           | 1    | $D_6=630\text{мм}$      |
| Д                | Электродвигатель                  | 1    | $N_{дв}=45\text{кВт}$   |
| К                | Канат                             | 1    | $d_k=16,5\text{мм}$     |
| КП               | Подвеска крюковая                 | 1    | $Q_{п}=20000\text{ кг}$ |
| МТ               | Муфта зубчатая с тормозным шкивом | 1    |                         |
| МФ               | Муфта зубчатая                    | 1    |                         |
| Р                | Редуктор                          | 1    | $U_p=31,5$              |
| ТУ               | Устройство тормозное              | 1    |                         |

### 2.2.2 Выбор крюковой подвески

Выбираем крюковую подвеску исходя из выполнения условия

$$Q_{п} \geq Q, \quad (2.1)$$

где  $Q_{п}$  – грузоподъемность крюковой подвески, кг;  
 $Q$  – заданная грузоподъемность, кг.

$$Q_{п} \geq 20000\text{ кг}$$

Выбираем крюковую подвеску:

Типоразмер по стандарту 4-20-406 с параметрами:

- $D=406\text{мм}$ ; - $d=110\text{мм}$ ; - $d_1=170\text{мм}$ ; - $B_1=152\text{мм}$ ;  
 - $B_3=76\text{мм}$ ; - $H=1187\text{мм}$ ; - $L=220\text{мм}$ ; - $L_1=540\text{мм}$ ; - $m=318\text{кг}$ ; - $Q=20000\text{кг}$ ;  
 - $d_k=14\dots17\text{мм}$ .

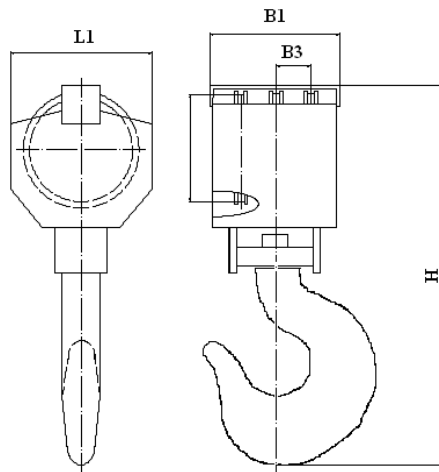


Рисунок 2.4 – Крюковая подвеска

### 2.2.3 Выбор каната

Максимальное статическое усилие  $S_{\max}$ , Н. Определяется по формуле

$$S_{\max} = \frac{G}{Z_{\text{к.б}} \cdot U_n \cdot \eta_n \cdot \eta_{\text{н.б.}}}, \quad (2.2)$$

где  $G$  – вес номинального груза и крюковой подвески, Н;  
 $Z_{\text{к.б.}}$  – число ветвей каната, навиваемых на барабан;  
 $U_n$  – кратность полиспаста;  
 $\eta_n$  – КПД полиспаста;  
 $\eta_{\text{н.б.}}$  – КПД направляющих блоков;

$$G = (Q + m) \cdot g = (20000 + 318) \cdot 9,8, \quad (2.3)$$

$$G = 199116,4 \text{ Н} = 199,116 \text{ кН}$$

$$S_{\max} = \frac{199116,4}{2 \cdot 3 \cdot 0,98} = 33683,3 \text{ Н} = 33,683 \text{ кН}$$

Выбор типа каната

$$F_o \geq Z_p \cdot S, \quad (2.4)$$

где  $F_o$  – разрывное усилие каната в целом, Н;  
 $Z_p$  – минимальный коэффициент использования каната.  $Z_p = 4,5$ ;  
 $S$  – наибольшее натяжение ветви каната, Н.

$$F_o \geq 4,5 \cdot 33683,3 = 151,57 \text{ кН}$$

Выбираем тип каната ЛК-РО(6•36, ГОСТ 7668-80)

По найденному разрывному усилию принимаем канат диаметром  $d_k=16,5$  мм, с разрывным усилием 157,5 кН.

## 2.2.4 Определение основных параметров барабана

Диаметр барабана  $D_6$ , мм, по средней линии навиваемого на него каната определится по формуле

$$D_{60} \geq h_1 \cdot d, \quad (2.5)$$

где  $h_1$  – коэффициент выбора диаметра барабана.  $h_1 = 20$ ;  
 $d$  – диаметр каната, мм.

$$D_{60} \geq 20 \cdot 16,5 = 330 \text{ мм}$$

Диаметр блока  $D_{6л}$ , мм, по средней линии навиваемого на него каната определится по формуле

$$D_{6л} \geq h_2 \cdot d, \quad (2.6)$$

где  $h_2$  – коэффициент выбора диаметра блока.  $h_2 = 22,4$ ;  
 $d$  – диаметр каната, мм.

$$D_{6л} \geq 22,4 \cdot 16,5 = 369,6 \text{ мм}$$

Диаметр блока  $D_{6л0}$ , мм, по дну канавки определится по формуле

$$D_{6л0} = D_{6л} - d, \quad (2.7)$$

$$D_{6л0} = 369,6 - 16,5 = 353,1 \text{ мм}$$

Диаметр блока  $D_{6л0}$  принимаем 406 мм

Уточняем ранее найденное значение диаметра барабана по средней линии навиваемого каната  $D_6$ , мм

$$D_6 = D_{60} + d_k, \quad (2.8)$$

$$D_6 = 330 + 16,5 = 346,5 \text{ мм}$$

Принимаем  $D_6 = 630$  мм

Длину одного нарезанного участка барабана  $L_n$ , мм, найдем по формуле

$$L_n = t \cdot (Z_p + Z_{непр} + Z_{кр}), \quad (2.9)$$

где  $t$  – шаг нарезки, мм.  $t = 20$  мм;

$Z_p$  – число рабочих витков для навивки половины полной рабочей длины каната

$$Z_p = \frac{L_{к.р}}{\pi \cdot D_{\phi}}, \quad (2.10)$$

$L_{к.р}$  – рабочая длина каната, соответствующая одному нарезанному участку, мм.

$$L_{к.р} = H \cdot U_n, \quad (2.11)$$

$H$  – высота подъема груза, м;

$$L_{к.р} = 15 \cdot 3 = 45 \text{ м},$$
$$Z_p = \frac{45}{3,14 \cdot 0,63} = 22,74$$

Где  $Z_{непр}$  – число неприкосновенных витков.  $Z_{непр} = 1,5$

$Z_{кр}$  – число витков для крепления конца каната  $Z_{кр} = 3$

$$L_H = 20 \cdot (22,74 + 1,5 + 3) = 545 \text{ мм}$$

Длина гладкого концевой участка  $l_k$ , мм, необходимого для закрепления заготовки барабана в станине при нарезании канавок выбирается из промежутка

$$l_k = (4 \div 5) \cdot d_k \quad (2.12)$$

$$l_k = (4 \div 5) \cdot 16,5 = 66 \div 82,5 \text{ мм}$$

Принимаем  $l_k = 66$  мм

Длина гладкого среднего участка  $l_0$ , мм, определится из неравенства

$$l_0 \geq B_{нар}, \quad (2.13)$$

где  $B_{нар}$  – расстояние между осями крайних наружных блоков выбранной крюковой подвески, мм,  $B_{нар} = 152$  мм

Принимаем  $l_0 = 152$  мм.

Длина барабана  $L_{\phi}$ , мм, определится по формуле

$$L_{\phi} = 2 \cdot l_H + l_0 + 2 \cdot l_k, \quad (2.14)$$

$$L_{\phi} = 2 \cdot 545 + 152 + 2 \cdot 66 = 1362 \text{ мм}$$

Принимаем  $L_{\phi} = 1360$  мм



Схема барабана представлена на рисунке 2.5:

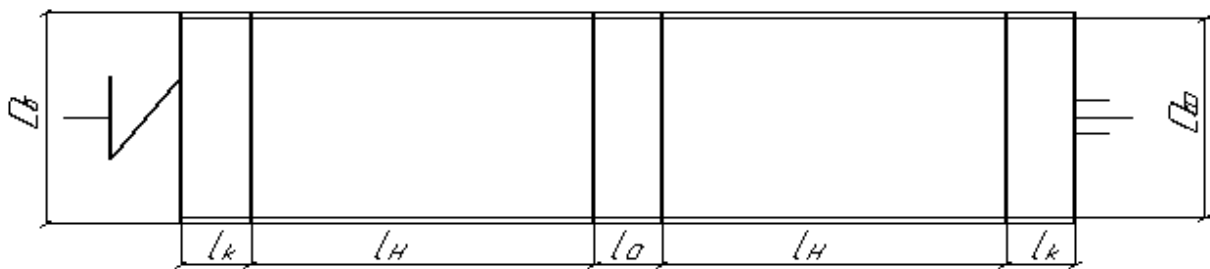


Рисунок 2.5 – Схема барабана

Высота оси барабана относительно основания внешней опоры  $h$ , мм, выбираем из промежутка

$$h=(0,3\div 0,6)\cdot D_6, \quad (2.15)$$

$$h=(0,3\div 0,6)\cdot 630=189\div 378\text{мм}$$

Принимаем  $h=200$  мм

Выбираю материал барабана чугун марки СЧ15 с пределом прочности на сжатие  $\sigma_B = 320 \text{ Н/мм}^2$ .

Толщина стенки барабана  $\delta$ , м, определим по формуле

$$\delta \geq \frac{S_{\max}}{t \cdot [\sigma_{\text{сж}}]}, \quad (2.16)$$

$$\text{где } [\sigma_{\text{сж}}] = \frac{\sigma_B}{5} - \text{допускаемое напряжение сжатия барабана, Н/мм}^2; \quad (2.17)$$

$t$  – расстояние между соседними витками каната, мм.

$$[\sigma_{\text{сж}}] = \frac{320}{5} = 64 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\delta \geq \frac{33683}{0,02 \cdot 64 \cdot 10^6} = 0,026 \text{ м}$$

### 2.2.5 Расчет крепления каната на барабане

Конец каната закрепляется прижимными накладками со шпильками. По диаметру каната  $d_k=16,5$  мм принята накладка с соответствием диаметром резьбы 17 мм и соответствующая ей шпилька ( $d_1=9,6\text{мм}$ ),  $[\sigma_p]=80 \text{ Н/мм}^2$ .

Расчетное натяжение каната в месте крепления  $S_p$ , Н, определится по формуле

$$S_p = \frac{S_{\max}}{e^{f \cdot \alpha}}, \quad (2.18)$$

где  $f=0,1$  – коэффициент трения между канатом и барабаном;  
 $\alpha=3\cdot\pi$  – регламентированный угол обхвата барабана  
 неприкосновенными витками, градус.

$$S_p = \frac{33683}{2,7^{0,1 \cdot 3 \cdot 3,14}} = 13309 \text{ Н}$$

Необходимое усилие нажатия прижимными накладками  $F$ , Н, определится по формуле Н

$$F = \frac{k \cdot 0,85 \cdot S_p}{\omega}, \quad (2.19)$$

где  $k=1,25$  – коэффициент запаса;  
 $\omega=0,35$  – коэффициент сопротивления выдергиванию каната из  
 накладки.

$$F = \frac{1,25 \cdot 0,85 \cdot 13309}{0,35} = 40402,32 \text{ Н}$$

Допускаемое усилие растяжения одной шпильки  $F_0$ , Н, определим по формуле

$$F_0 = \frac{[\sigma_p] \cdot \pi \cdot d_1^2}{4} = \frac{80 \cdot 10^6 \cdot 3,14 \cdot 0,017^2}{4} = 18149,2 \text{ Н} \quad (2.20)$$

Необходимое число накладок  $z$  определим по формуле

$$Z = F/F_0, \quad (2.21)$$

$$Z = 40402,32 / 18149,2 = 2,22$$

Необходимое число накладок принимаем равным  $z=3$ . Количество накладок совпадает с количеством болтов.

## 2.2.6 Выбор электродвигателя

Максимальная статическая мощность  $P_{ст. \max}$ , кВт, определится по формуле

$$P_{ст. \max} = \frac{G \cdot g}{\eta_{np}}, \quad (2.22)$$

где  $G$  – вес номинального груза и крюковой подвески, Н;  
 $\eta_{np}$  – предварительное значение КПД механизма.  $\eta_{np}=0,85$ .

$$P_{ст. max} = \frac{199,116 \cdot 0,2}{0,94} = 42,36 \text{ кВт}$$

Номинальная мощность двигателя  $P_{дв}$ , кВт, определяем из промежутка

$$P_{дв} = K_{и} \cdot K_{р} \cdot K_{\varepsilon} \cdot K_{пр} \cdot P_{ст. max}, \quad (2.23)$$

где  $K_{и}$  – коэффициент использования номинальной грузоподъемности. Для крюковых кранов  $K_{и}=0,7$ ;

$K_{р}$  – коэффициент, учитывающий применяемую систему регулирования скорости. Для режима работы М6  $K_{р}=1,05$ ;

$K_{\varepsilon}$  – коэффициент, учитывающий фактическую продолжительность включения. Для режима работы М6  $K_{\varepsilon}=1,05$   $\varepsilon=0,4$ ;

$K_{пр}$  – коэффициент пусковых потерь. Для режима работы М6  $K_{пр}=1,35$

$$P_{дв} = 0,7 \cdot 1,05 \cdot 1,05 \cdot 1,35 \cdot 42,36 = 44,13 \text{ кВт}$$

Выбираем двигатель марки 4МТН 280S10 со следующими характеристиками:

|  |       |
|--|-------|
| - мощность $N_{дв}$ , кВт                          | 45;   |
| - частота вращения вала $n_{дв}$ , с <sup>-1</sup> | 9,41; |
| - масса $m$ , кг                                   | 1550; |
| - коэффициент полезного действия                   | 0,85; |
| - диаметр вала, мм                                 | 90.   |

Общий вид электродвигателя представлен на рисунке 2.6.

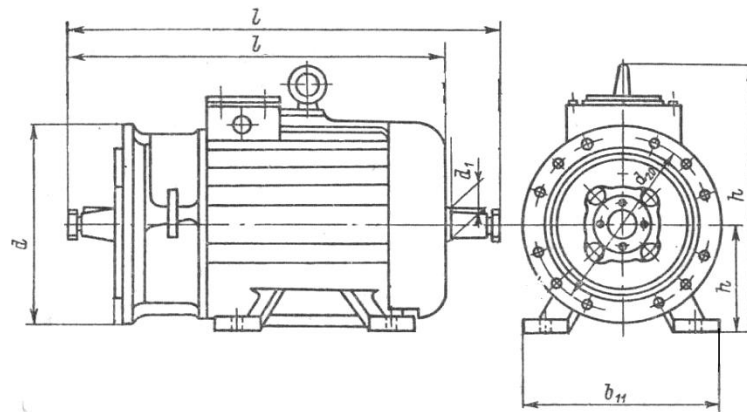


Рисунок 2.6 – Общий вид электродвигателя

Проверка двигателя по обеспечению надежного разгона

$$\frac{M_{max}}{M_{ст}} \geq 1,7 K_p, \quad (2.24)$$

где  $M_{ст}$  – статический момент на валу двигателя, Н·м.

$$M_{cm} = \frac{1,1 \cdot G \cdot D_0}{2 \cdot i_p \cdot u \cdot \eta}, \quad (2.25)$$

$$M_{cm} = \frac{1,1 \cdot 199116 \cdot 0,63}{2 \cdot 3 \cdot 31,5 \cdot 0,92} = 793,5 H \cdot m$$

Максимальный момент на валу двигателя  $M_{\max}$ , Н·м, определим по формуле

$$M_{\max} = 2 \cdot M_H = 2 \cdot \frac{30 \cdot N_{дв}}{\pi \cdot n}, \quad (2.26)$$

$$M_{\max} = 2 \cdot \frac{30 \cdot 45}{3,14 \cdot 565} = 1,52 kH \cdot m,$$

$$\frac{1520}{793,5} \geq 1,7 \cdot 1,08,$$

$$1,91 \geq 1,84$$

Условие выполняется

### 2.2.7 Выбор редуктора

Частота вращения барабана  $n_{\delta}$ ,  $c^{-1}$ , определится по формуле

$$n_{\delta} = \frac{g_{nod} \cdot i_g}{\pi \cdot D_{\delta}}, \quad (2.27)$$

$$n_{\delta} = \frac{0,2 \cdot 3}{3,14 \cdot 0,63} = 0,3 \text{ } c^{-1}$$

Требуемое передаточное число редуктора  $U'_p$  определится по формуле

$$U'_p = \frac{n_{\delta\delta}}{n_{\delta}}, \quad (2.28)$$

$$U'_p = \frac{9,41}{0,3} = 31,38$$

Коэффициент переменной нагрузки  $K_Q$  определится по формуле

$$K_Q = \sqrt[3]{K_m},$$

где  $K_m$  – коэффициент распределения нагрузок. В соответствии с требованиями РОСГОСТЕХНАДЗОРа при классе использования Т5 и режиме

нагружения L3  $K_m = 0,5$ .

$$K_Q = \sqrt[3]{0,5} = 0,79$$

Частота вращения тихоходного вала редуктора  $n_m, \text{с}^{-1}$ , определится по формуле

$$n_m = n_6 \cdot U_M, \quad (2.29)$$

где  $U_M$  – передаточное число муфты,  $U_M = 1$ .

$$n_m = 0,3 \cdot 1 = 0,3 \text{ с}^{-1}$$

Число циклов нагружения  $Z_T$ , определится по формуле

$$Z_T = 3600 \cdot n_m \cdot t_{\text{маш}}, \quad (2.30)$$

где  $t_{\text{маш}}$  – общая продолжительность использования крана, ч. В соответствии с нормами РОСГОСТЕХНАДЗОРа  $t_{\text{маш}} = 6300$

$$Z_T = 3600 \cdot 0,3 \cdot 6300 = 6804000$$

Суммарное число циклов контактных напряжений зуба шестерни тихоходной ступени редуктора  $Z_{ш}$  определится по формуле

$$Z_{ш} = Z_T \cdot U_T, \quad (2.31)$$

где  $U_T$  – передаточное число тихоходной ступени редуктора. Принимаю  $U_T = 5$

$$Z_{ш} = 6804000 \cdot 5 = 34,02 \cdot 10^6$$

Коэффициент срока службы  $K_t$  определится по формуле

$$K_t = \sqrt[3]{\frac{Z_{ш}}{Z_0}}, \quad (2.32)$$

где  $Z_0$  – базовое число циклов контактных напряжений  
Для типовых редукторов принимаем  $Z_0 = 125 \cdot 10^6$

$$K_t = \sqrt[3]{\frac{34,02 \cdot 10^6}{125 \cdot 10^6}} = 0,65$$

Коэффициент долговечности  $K_D$  определится по формуле

$$K_d = K_Q \cdot K_t, \quad (2.33)$$

$$K_d = 0,79 \cdot 0,65 = 0,51$$

Расчетный крутящий момент  $T_p$ , Н·м, определится по формуле

$$T_p = \frac{2 \cdot S \cdot r_{\delta}}{\eta_{\delta} \cdot \eta_m \cdot U_M}, \quad (2.34)$$

где  $r_{\delta}$  – радиус барабана, м;

$\eta_{\delta}$  – коэффициент полезного действия опоры барабана для одной пары подшипников,  $\eta_{\delta} = 0,99$ ;

$\eta_m$  – коэффициент полезного действия муфты,  $\eta_m = 0,98$ .

$$T_p = \frac{2 \cdot 33683 \cdot 0,315}{0,99 \cdot 0,98 \cdot 1} = 21872,1 \text{ Н·м}$$

Расчетный эквивалентный момент на тихоходном валу редуктора  $T_{p.э}$ , Н·м, определится по формуле

$$T_{p.э} = K_d \cdot T_p, \quad (2.35)$$

$$T_{p.э} = 0,51 \cdot 21872,1 = 11154,7 \text{ Н·м}$$

Выбираю двухступенчатый цилиндрический редуктор типоразмер Ц2-650 со следующими характеристиками:

|   |        |
|---|--------|
| - номинальный крутящий момент $T$ , Н·м,  | 20000; |
| - передаточное отношение $U_p$            | 31,5;  |
| - масса $m$ , кг                          | 87;    |
| - коэффициент полезного действия $\eta_p$ | 0,96;  |
| - диаметр быстроходного вала $d_1$ , мм   | 70;    |
| - диаметр тихоходного вала $d_2$ , мм     | 140.   |

Общий вид редуктора представлен на рисунке 2.7.

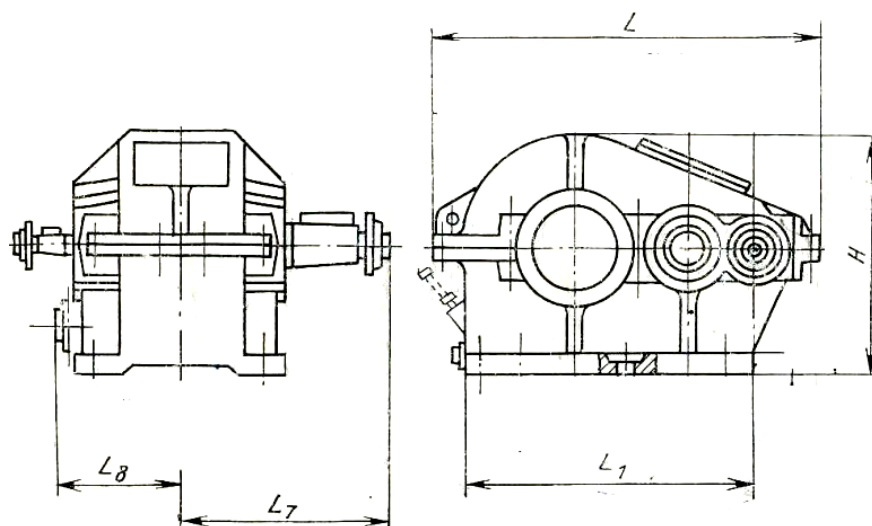


Рисунок 2.7 – Общий вид редуктора

## 2.2.8 Выбор муфт

Для соединения вала двигателя с валом редуктора использована зубчатая муфта типа 2 с тормозным шкивом.

Расчетный крутящий момент при  $M_{\max}=760,62 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ,  $M_p$ ,  $\text{Н}\cdot\text{м}$ , определится по формуле

$$M_p = M_{\max} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (2.36)$$

где  $K_1=1,3$  – Коэффициент, учитывающий степень ответственности механизма;

$K_2=1,3$  – Коэффициент, учитывающий группу режима работы механизма;

$K_3=1,25$  (при угловом смещении муфты  $0,5^\circ$ ).

С учетом диаметров валов двигатель  $d_d=90\text{мм}$  и редуктора  $d_p=70\text{мм}$  принимаем муфту М33 с параметрами:

|  |       |
|--|-------|
| -номинальный момент, $\text{Н}\cdot\text{м}$ | 2500; |
| -диаметр тормозного шкива, мм                | 400.  |

Для соединения редуктора и барабана используем муфту с зубчатым венцом с параметрами:

- $m=10$ ; - $z=48$ .

### 3. Монтаж и сборка мостового крана грузоподъемностью 20 т

#### 3.1 Проверка подкрановых путей и рельсов

Перед монтажом крана необходимо выполнить проверку подкрановых путей, т.е. измерить расстояние  $L$  между подкрановыми рельсами, разницу высотных отметок рельсов, высоту установки рельсов над уровнем пола цеха, прямолинейность рельсов.

Высоту установки подкрановых путей  $H$  над уровнем пола измеряем при помощи рулетки. Измерение проводим в нескольких точках. Схема измерения представлена на рисунке 3.1.

Прямолинейность рельсов проверяем теодолитом 4 и микрометрической маркой 5. Измерение проводим в нескольких точках. Отклонение рельсов от прямой линии не должно превышать 15 мм.

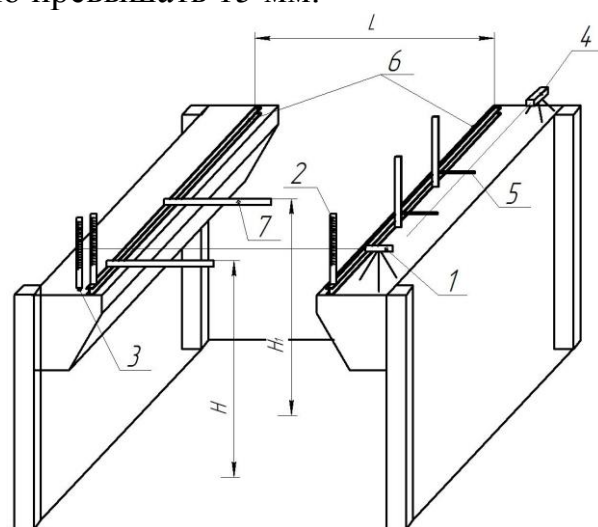


Рисунок 3.1 – Выверка подкрановых путей

1-нивелир, 2- линейка, 3 – репер, 4 – теодолит, 5 – микрометрическая марка, 6 – подкрановые пути, 7 поверочная линейка.

С помощью нивелира берем высотные отметки рельсов  $h_0 - h_4$  и  $h'_0 - h'_4$  и определяем их разность  $\Delta h = h_0 - h'_0, h_1 - h'_1 - h_4 \dots h'_4$ , которая в любом поперечном сечении не должна быть более 15 мм. Схема выверки при помощи нивелира показана на рисунке 3.2.



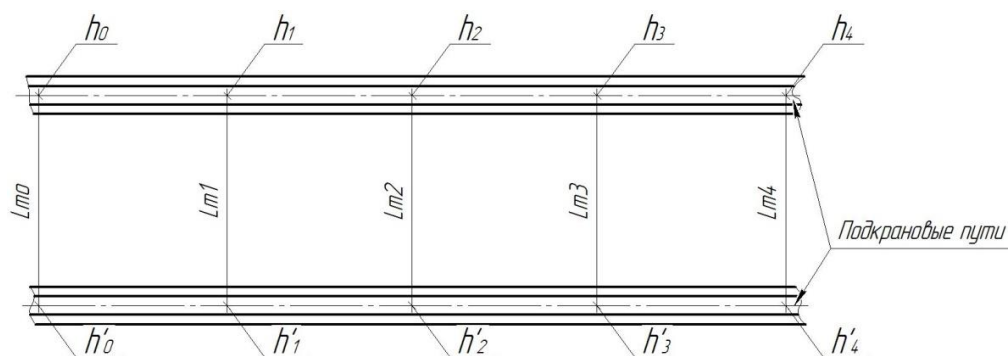


Рисунок 3.2 – Выверка подкрановых путей

Расстояние между осями подкрановых рельсов  $L_{T0} - L_{T4}$  (рисунок 3.2) измеряем рулеткой через каждые 3 м с постоянным натяжением равным 120 Н. Допускаемое отклонение  $\pm 10$  мм.

### 3.2 Укрупнение сборочных единиц мостового крана

Порядок укрупнительной сборки и степень укрупнения сборочных единиц кранов определяются проектом производства работ (ППР) в зависимости от выбранного способа монтажа и условий поставки кранов.

Целью укрупнительной сборки конструкций, механизмов и электрооборудования мостового крана является выполнение максимального объема сборочных работ в нижнем положении и соответственно сокращение до минимума числа операций, выполняемых на высоте. Поэтому лучшим вариантом является такой, при котором на подкрановые пути поднимают мост, целиком собранный в нижнем положении, вместе с установленной на нем тележкой.

На площадке укрупнительной сборки устанавливают стеллажи для сборки мостов. Стеллажи должны иметь горизонтальную поверхность, сверху на них укладывают два параллельных рельса, расстояние между которыми равно пролету крана, а длина — больше базы крана на 2,5—3 м с каждой стороны.

На стеллажах с помощью самоходных стреловых кранов собирают мост крана. При этом, если мост поставляется изготовителем отдельно в виде двух главных и двух концевых балок (рисунок 3.3), собирают четыре монтажных стыка главных балок с концевыми.

Монтажные стыки собирают в два этапа: вначале на монтажных (сборочных) болтах, а после выверки и устранения перекосов — окончательно, на сварке, чистых болтах или заклепках в соответствии с указаниями в рабочих чертежах.

При сборке моста, на рельсы, уложенные на стеллажи, устанавливают концевые балки с колесами или балансиром и фиксируют (временно закрепляют) их в нужном положении. После этого между концевыми балками заводят одну из главных балок до совмещения отверстий под монтажные болты

в стыках и соединяют их болтами. Затем так же устанавливают и соединяют с концевыми — вторую главную балку.

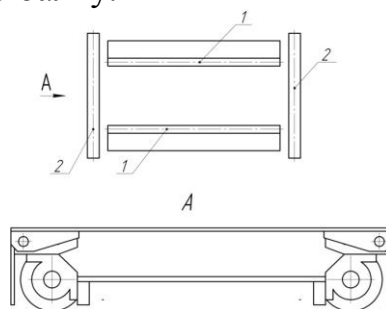


Рисунок 3.3 Схема моста крана  
1 — главная балка; 2 —концевая балка;

Перед сборкой поверхности стыковых элементов тщательно очищают от засохшего грунта, краски и ржавчины, а поверхности сварных стыковых элементов зачищают до металлического блеска. При сборке стыков необходимо добиваться максимального совпадения отверстий и не допускать подгонки их путем натяжки при помощи конических оправок, так как это создает дополнительные напряжения в металле. Плотность прилегания стыковых накладок проверяют щупом: пластинка щупа толщиной 0,1 мм не должна проходить между накладкой и телом концевой балки.

Заклепочные соединения собирают, забивая в отверстия (под заклепки) оправки (пробки), которыми равномерно заполняют 10—15 % отверстий с каждой стороны монтажного стыка. Одновременно с ними устанавливают монтажные болты, которыми равномерно заполняют 20—25 % отверстий. Гайки на болтах заворачивают не полностью.

Для сборки монтажных стыков, кроме грузоподъемных кранов, используют рычажные лебедки, домкраты, а также простейшие приспособления для временного закрепления элементов мостов в нужном положении: опоры, подкладки, кронштейны, башмаки и т. д.

После сборки моста к наружным стенкам главных балок крепят площадки, устанавливают лестницы и ограждения.

Собранный на монтажных болтах мост крана выверяют, для чего проверяют и сравнивают с указанными в чертежах или паспорте: прямоугольность моста, пролет крана, колею грузовой тележки, строительный подъем моста, установку тележечных рельсов и ходовых колес крана.

Прямоугольность моста проверяют одним из двух способов: по разности диагоналей или способом створа (при помощи теодолита). Диагонали измеряют по симметричным точкам моста, которыми могут служить точки пересечения продольных и поперечных осей ходовых колес; практически их выносят на концевые балки или тележечные рельсы (рисунок 3.4), но при этом размеры  $a$  и  $a'$ ,  $b$  и  $b'$  должны быть соответственно равны между собой. Замеры диагоналей часто выполняют по точкам, перенесенным на концевые балки от вертикальных касательных к окружностям реборд ходовых колес. Если прямоугольность моста была проверена на заводе-изготовителе (о чем в паспорте крана делается

соответствующая запись), то при монтаже замеры диагоналей делают по контрольным рискам, нанесенным на концевых балках или тележечных рельсах. Разность диагоналей прямоугольного моста не должна превышать 5 мм.

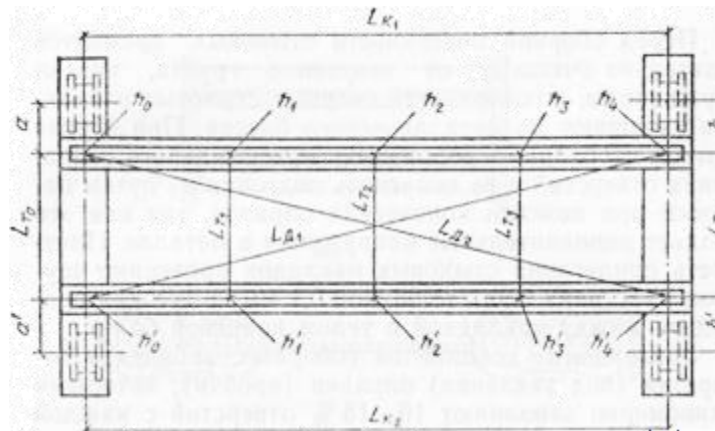


Рисунок 3.4 Схема выверки моста крана с помощью рулетки

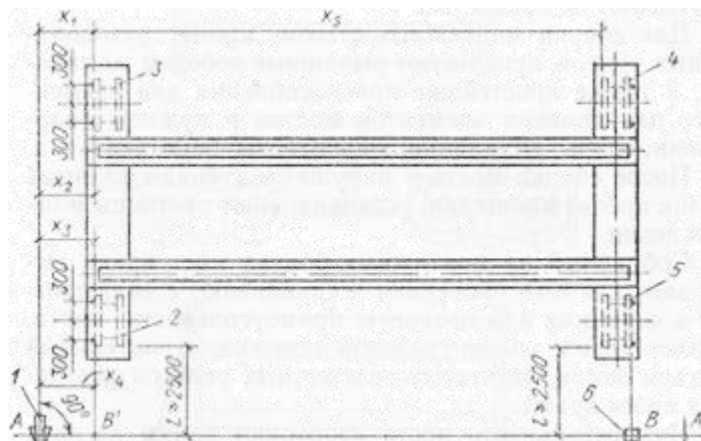


Рисунок 3.5 Схема выверки моста крана с помощью теодолита  
1 — теодолит; 2—5 — колеса; 6 — визирная марка

При больших пролетах крана этот способ проверки недостаточно точен, так как замер больших длин рулеткой требует постоянного натяжения стальной ленты; кроме того, практически не всегда возможно замерять диагонали на мосту крана. В этих случаях чаще применяют второй способ, который состоит в следующем.

В точке А, на расстояниях, указанных на рисунке 3.5, устанавливают теодолит, а в точке В — визирную Марку 6. Совмещают визирную ось теодолита с центром визирной марки, после чего поворачивают зрительную трубу теодолита на  $90^\circ$  в горизонтальной плоскости (по лимбу) и закрепляют ее. Затем измеряют расстояния  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  и  $X_4$  от отвеса, установленного по визирной оси теодолита до торцевой поверхности колес по хорде, проходящей через точки, удаленные от оси не менее чем на 300 мм. Длину хорды принимают одинаковой на всех колесах. После этого теодолит переносят в

точку А', а визирную марку — в точку В' и делают аналогичные замеры на колесах.

Условием прямоугольности моста является равенство размеров. Допускаемое отклонение этих размеров друг от друга составляет для ребордных колес 3 мм, а для безребордных 4 мм.

Второй способ позволяет также одновременно проверить перекося ходовых колес в горизонтальной и вертикальной плоскостях, так как разница размеров и определяет перекося в горизонтальной плоскости, а разница расстояний от вертикальной плоскости до аналогичных точек, расположенных по концам вертикальной хорды, характеризует перекося в вертикальной плоскости.

При первом способе проверки прямоугольности моста перекося колес определяют аналогично, но вместо визирной линии теодолита используют струну и отвес. Отклонения торцевых поверхностей колес от горизонтальной и вертикальной плоскостей не должны превышать 1 мм на 1000 мм диаметра колеса. Такой же допуск установлен на отклонение торцов колес от общей плоскости.

Если отклонения от прямоугольности моста превышают указанные значения, то перекося необходимо устранить.

Наиболее распространенный способ исправления геометрической формы крановых мостов заключается в следующем. У одного из углов моста с большей диагональю ставят упор, препятствующий его продольному и поперечному перемещению, а у другого угла — домкрат. Ослабив затяжку монтажных болтов, направляют усилие домкрата вдоль оси главной балки, которую перемещают до тех пор, пока разность диагоналей не станет равной нулю или в пределах допуска. Другой способ исправления формы моста состоит в том, что, закрепив одну концевую балку, вторую перемещают в направлении оси рельса подкранового пути.

Отклонение в стыках тележечных рельсов в плане и по высоте не должно превышать 1 мм, а зазор в стыках должен быть не более 2 мм.

Допускаемый зазор между подошвой тележечного рельса и прокладкой по краям подошвы от 0,75 мм для рельса Р4. В средней части подошвы этот зазор не должен превышать от 0,3 мм.

Перекося ходовых колес, превышающие приведенные выше допуски, устраняют при помощи прокладок, устанавливаемых между пластинами и буксами колес в концевой балке или балансире, добиваясь при этом того, чтобы положение колес соответствовало размерам, полученным при сборке на заводе-изготовителе и зафиксированным в специальном бланке, прилагаемом к паспорту крана.

Окончательное соединение монтажных стыков на сварке выполняют сварщики, при температуре не ниже минус 10 °С с соблюдением технических требований завода - изготовителя.

Чистые болты, применяемые для соединений монтажных стыков, должны иметь длину не нарезанной части на 8—10 мм меньше толщины пакета соединяемых элементов. Вставляют их в отверстия туго, с помощью молотка.

Затяжка болтов при окончательной сборке стыков должна обеспечивать плотное прилегание соединяемых деталей. В затянутом стыке щуп толщиной 0,1 мм может входить между деталями на глубину не более 20 мм в любом месте соединения.

Клепку производят ручными пневматическими молотками. Это весьма трудоемкая и тяжелая операция, поэтому стремятся выполнить максимальный объем клепальных работ в нижнем положении, до подъема сборочных единиц на подкрановые пути.

До начала клепки затягивают чистые болты, которыми крепят накладки на стыках.

Затем проверяют отверстия под заклепки калибром диаметром на 1,5 мм меньше номинального диаметра отверстия и удаляют заусенцы на краях отверстий, при этом глубина и ширина раззенковки отверстий не должны превышать 1,5 мм.

Укрупнение полумостов кранов состоит в установке ходовой части и привода механизма передвижения, а также площадок.

Ходовую часть механизма передвижения кранов, у которых главные балки опираются непосредственно на балансиры с ходовыми колесами, устанавливают, закатывая их по рельсам под главную балку, и после совмещения отверстий соединяют осью (соединительным валиком).

Привод механизма передвижения крана собирают после установки и выверки ходовой части, а центровку и соединение выходного вала редуктора с осью приводного колеса в концевой балке или балансире — после окончательного соединения монтажных стыков металлоконструкций моста. Наиболее сложной операцией при сборке привода является выверка зубчатых муфт типа МЗ и МЗП (с промежуточным валом). Условием правильного соединения валов является их соосность и отсутствие перекосов (в пределах допусков).

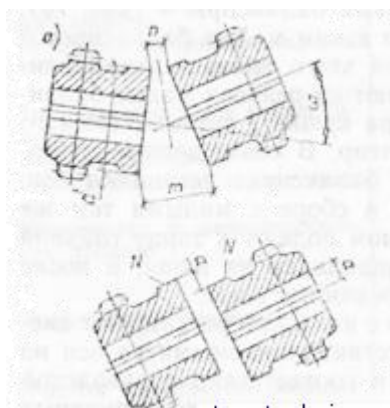


Рисунок 3.6 – Схема определения перекоса и радиального смещения муфт

При сборке муфт типа МЗ (рисунок 3.6) контролируют радиальное смещение, характеризующее не соосность соединяемых валов, и перекос.

Проверка соосности по линейке производится следующим образом. На каждую шейку укладывают по две полоски бумаги одинаковой толщины. Затем на бумажные полоски устанавливают металлическую линейку и пробуют

вытащить бумажки из-под линейки. Если валы соосны, то все бумажки должны быть плотно прижаты линейкой.

В процессе выверки выполняют центровку соединяемых валов, т. е. добиваются их соосности и устраняют перекосы, после чего окончательно собирают муфты.

В последнюю очередь устанавливают электродвигатели и тормоза, выверяют положение электродвигателей, осуществляют центровку их валов с валами редукторов и закрепляют на под моторной плите или раме.

Тормоз необходимо устанавливать так, чтобы его центр совпадал с центром тормозного шкива. Не параллельность и перекося поверхностей колодок относительно рабочей поверхности шкива не должны превышать 0,1 мм на каждые 100 мм ширины шкива, а радиальное биение — 0,05 мм на 100 мм диаметра шкива.

Укрупнительную сборку тележки выполняют на специальном стенде с рельсами или на мосту крана. Можно собирать тележку на шпальной клетке, а затем на мосту крана провести окончательную выверку ходовой части механизма ее передвижения. Вначале собирают раму тележки (если она поставляется заводом-изготовителем отдельными частями) на монтажных болтах и устанавливают ходовую часть механизма передвижения: колеса или балансиры.

При сборке рамы проверяют ее прямоугольность, измеряя диагонали в точках, отмеченных рисками на заводе-изготовителе при контрольной сборке тележки или непосредственно на месте монтажа. Разность диагоналей не должна превышать 3 мм.

После этого проверяют правильность установки ходовых колес или балансиров так же, как и ходовой части механизма передвижения крана. При этом, кроме перекося ходовых колес, проверяют смещение вертикальной плоскости симметрии ходового колеса от такой же плоскости рельса, которое допускается не более 2 мм, а также операние тележки на тележечные рельсы всеми колесами (центры ходовых колес должны быть расположены в одной горизонтальной плоскости) и базу тележки, измеренную по одной и другой стороне, допуск на которую  $\pm 2$  мм. После выверки и устранения перекося рамы и ходовой части тележки выполняют окончательную сборку рамы на заклепках или сварке в соответствии с указаниями в чертежах завода-изготовителя. Иногда ходовую часть механизма передвижения тележки собирают на перевернутой раме, которую затем кантуют в проектное положение.

После клепки или сварки рамы тележки собирают окончательно механизм передвижения: устанавливают редуктор (предварительно), собирают и выверяют зубчатые муфты и валы, а также соединяют их с колесами, после чего редуктор закрепляют. Затем устанавливают тормоз и электродвигатель с полумуфтой, выполненной в виде тормозного шкива, центрируют валы электродвигателя и редуктора, тормоз и закрепляют их болтами. Если возникает необходимость посадить полумуфту на вал электродвигателя, это делают легкими ударами деревянного или медного молотка, при этом

противоположному концу вала дается упор; полумуфту предварительно нагревают до 60—80 °С.

Сборочные единицы механизмов подъема опираются на обработанные пластины, поэтому регулировать их положение по высоте подкладками не требуется.

Механизм главного подъема собирают в такой последовательности: устанавливают барабан с блок-подшипниками и стойкой (после их выверки и крепления забивают и прихватывают электросваркой стопорные клинья), малые зубчатые колеса открытой передачи и редуктор, а затем электродвигатель и тормоз.

Сборку механизма вспомогательного подъема начинают с редуктора, а затем устанавливают барабан, электродвигатель и тормоз.

При установке барабанов механизмов главного и вспомогательного подъемов особое внимание следует уделять правильной сборке и выверке открытых зубчатых передач.

Зубья шестерни выходного вала редуктора должны быть равномерно утоплены между зубьями ведомой шестерни барабана. При выверке необходимо обеспечить заданное в чертежах межосевое расстояние и отсутствие перекоса осей.

Правильность сборки определяется величинами предельных отклонений бокового зазора и межосевого расстояния, а также размером пятна контакта зубьев, который проверяют на краску.

Электродвигатели и тормоза устанавливают после полной сборки и выверки механизмов. При этом собирают и выверяют зубчатые муфты и валы. Перекос и взаимное смещение валов электродвигателей и редукторов должны находиться в пределах допусков, указанных в чертежах завода-изготовителя, и во всяком случае не должны превышать величины, допустимой для зубчатой муфты соответствующего номера.

После сборки моста крана или укрупнения полумостов, а также после сборки тележки, до подъема сборочных единиц на подкрановые пути, монтируют электрооборудование. Эту работу выполняет бригада электриков, которые в соответствии с электромонтажными чертежами устанавливают клеммные и переходные коробки, подставки под электрические аппараты, прокладывают жгуты электропроводки в коробках и металлических рукавах.

Затем устанавливают электрические аппараты (трансформаторы, пускатели, ящики сопротивления ит. д), следя за тем, чтобы ширина проходов между ними и перилами ограждения площадки моста была не менее 400 мм. После этого подсоединяют концы электропроводки к зажимам электрооборудования, монтируют заземление электрооборудования и электропроводок.

Кабины управления мостовых кранов поступают в монтаж, как правило, с высокой степенью электромонтажной готовности. Но иногда электромонтаж кабины приходится выполнять на месте сборки крана, в том числе устанавливать защитную панель, контроллеры, светильники, конечные и аварийные выключатели, кнопки, клеммные и разводные коробки.

Также до подъема моста крана устанавливают и подключают светильники подкранового освещения.

### 3.3 Технология монтажа

Строповка при монтаже кранов является наиболее ответственной операцией. Строповка моста ведется в обхват на (удавку).

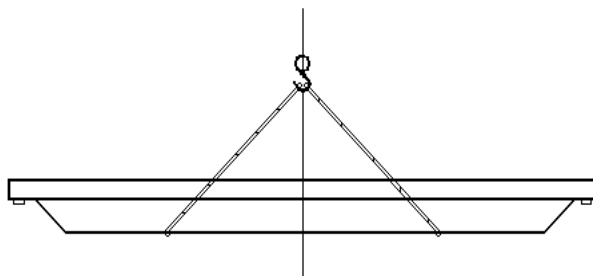


Рисунок 3.7 Схема строповки моста

При подъеме тележки ее стропят за балку так, чтобы ветви стропы огибающее оборудование не нарушали его целостности.

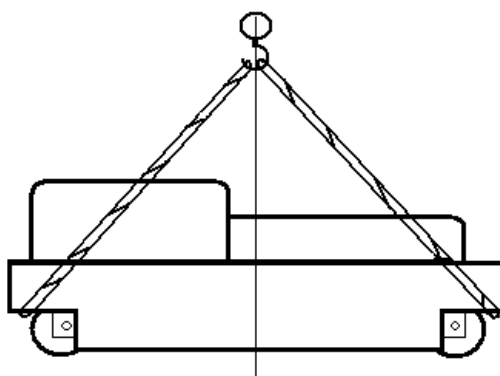


Рисунок 3.8 Схема строповки тележки

Подъем моста целиком собранном виде, подъем ведется выше подкрановых путей в положении, когда он сориентирован вдоль пролета или под некоторым углом к его продольной оси, затем разворот в горизонтальной плоскости при помощи оттяжек сориентировав на подкрановые пути, плавно работая лебедкой производим опускание на подкрановые пути.

После монтажа моста в сборе приступают к монтажу тележки. тележку удобно поднимать теми же монтажными устройствами, которые применялись при подъеме моста. Мост крана при помощи рычажных лебедок перемещают в сторону соседнего пролета цеха. Тележку поднимают в горизонтальном положении, чуть выше моста, после этого мост при помощи рычажных лебедок возвращается в исходное положение и производят опускание тележки на направляющие которые находятся на мостовом кране в проектное положение.

Подъем кабины и перемещение возможны с использованием простых средств малой грузоподъемности, что облегчает трудоемкость монтажа.



Раздельный подъем кабины машиниста предельно собранную и укомплектованную электра оборудованием установленное на специальную раму. Подъем осуществляется двумя ручными таями обеспечивая равномерный подъем. Подъем кабины для обслуживание тока провода и троллей возможен стропами пропущенными через люк в площадке моста крана строповка допускается только за элементы рамы корпуса кабины.

### **3.4 Контроль качества монтажа**

Первоначальный вид контроля, которому подвергаются все типы машин и оборудования это осмотр. При нем выявляются дефекты металла и сварных швов, проверяют соответствие изделия требованиям чертежа, а также наличие и правильность нанесения маркировки. Контроль качества монтажа должен систематически осуществляться на всех этапах монтажа.

Существует много методов контроля качества, которые можно подразделить на две группы: 1) Прямые методы контроля, непосредственно определяющие качество контролируемых работ. 2) Косвенные методы контроля, определяющие качество контролируемых работ на образцах . К прямым методам контроля относятся визуальный осмотр и инструментальная проверка, просвечивание гамма – лучами, магнитные и ультразвуковые методы дефектоскопии, гидравлическое и пневматическое испытание. При инструментальной проверке точность измерительного инструмента должна соответствовать требуемой точности установки узла или детали. Просвечивание гамма – лучами, магнитная и ультразвуковая дефектоскопия широко применяются при проверке качества сварных швов аппарата. Эти методы контроля позволяют обнаружить скрытые пороки швов без их разрушения и точно определить характер и место расположения пороков. Гидравлическое и пневматическое испытание является обязательным видом контроля для всех аппаратов и трубопроводов работающих под давлением. Этот способ позволяет одновременно проконтролировать как прочность, так и плотность всех сварных швов, фланцевых и резьбовых соединений, а также пороки основного металла. В целях безопасности применяется, как правило, гидравлическое испытание, так как при разрушении аппарата во время пневматического испытания это разрушение носит характер взрыва. Пневматическое испытание применяется в тех случаях, когда гидравлическое по каким либо причинам не применимо. Испытательное давление указывается в паспорте аппарата или оговорено в технических условиях и зависит от ряда причин: рабочего давления в аппарате, температуры аппарата при его эксплуатации, степени взрывоопасности среды, от материала из которого изготовлен корпус. При обнаружении дефектов опробование немедленно останавливают и устраняют дефекты, после чего опробование продолжают. После того как оборудование отрегулировано или, как говорят, выведено на заданный режим работы, производится сдача заказчику. К моменту сдачи аппарата должна быть полностью подготовлена и скомплектована сдаточная техническая документация.

## 4 Эксплуатация и ремонт металлургического оборудования

### 4.1 Транспортно-технологическая схема производства алюминия

В настоящее время погрузо-разгрузочные операции (ПРО) и внутривозовские перевозки сырья и материалов в основном механизированы и частично автоматизированы, но для выполнения ряда операций используется еще немало ручного труда.

Используемое оборудование:

- Машина для раздачи глинозема типа МРГ-4;
- Самоходная машина для пробивки корки типа МПК-5 с дизельным двигателем;
- Машина для загрузки анодной массы, производительность 65 тонн в смену;
- Машина для пробивки периферии анода смонтирована на тракторе;
- Самоходная машина для трамбовки массы
- Мостовой комплексный кран
- Мостовой кран
- Вакуум ковш

Продолжительность смены 8 часов;

Номинальный фонд работы оборудования в сутки 24 часа;

Номинальный фонд работы оборудования в месяц 520 часов;

Номинальный фонд работы оборудования в год 8160 часов.

На основании паспортных данных, технических характеристик и справочных материалов определяем нормативы периодичности, продолжительности и трудоёмкости ремонтов основного технологического оборудования [15]. Полученные данные об оборудовании приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Данные об оборудовании

| Тип оборудования                            | количество | Ремонт |               |                   |               | Трудоёмкость, чел·ч |                |
|---|------------|--------|---------------|-------------------|---------------|---------------------|----------------|
|   |            | Вид    | Периодичность | Продолжительность | Число в цикле | Одного ремонта      | Средне-годовая |
| Машина для пробивки корки электролита мпк-5 | 5          | ТО     | 243           | 4                 | 25            | 8                   | 200            |
|   |            | Т      | 730           | 64                | 11            | 64                  | 704            |
|   |            | К      | 8760          | 336               | 1             | 250                 | 250            |
| Машина для раздачи глинозема мрг-4          | 5          | ТО     | 243           | 4                 | 25            | 11                  | 275            |
|   |            | Т      | 730           | 64                | 11            | 64                  | 704            |
|   |            | К      | 8760          | 336               | 1             | 346                 | 346            |

Окончание таблицы 4.1

|   |   |    |       |     |     |      |        |
|---|---|----|-------|-----|-----|------|--------|
| Машина для раздачи фтористых солей.         | 5 | ТО | 243   | 4   | 48  | 4    | 96     |
|   |   | Т  | 730   | 48  | 23  | 51   | 587    |
|   |   | К  | 17520 | 288 | 1   | 301  | 151    |
| Кран комплексный анодный "КАТУК" Г/П 2/6/25 | 2 | ТО | 243   | 2   | 96  | 12   | 288    |
|   |   | Т  | 730   | 16  | 47  | 352  | 4136   |
|   |   | К  | 35040 | 168 | 1   | 2520 | 630    |
| Кран мостовой Г/П 25                        | 2 | ТО | 243   | 4   | 120 | 12   | 288    |
|   |   | Т  | 730   | 8   | 59  | 120  | 1416   |
|   |   | К  | 43800 | 120 | 1   | 960  | 192    |
| Кран мостовой Г/П 50/12.5                   | 2 | ТО | 243   | 2   | 120 | 8    | 192    |
|   |   | Т  | 730   | 8   | 59  | 96   | 1132,8 |
|   |   | К  | 43800 | 96  | 1   | 576  | 115,2  |

## 4.2 Определение количества и видов ремонтов

Количество, виды технических обслуживаний и ремонтов определяем аналитическим методом [17]:

Для машины пробивки корки электролита мпк-5

Количество капитальных ремонтов на текущий год

$$N_K = \frac{H_{\Gamma} + H_K}{K} = \frac{6282,1 + 0}{8760} = 0,7 \approx 0 \quad (4.1.)$$

где  $H_{\Gamma}$  - планируемая выработка на год,

$$H_{\Gamma} = T_{\Gamma} \cdot K_{\Pi} - T_P = 8160 \cdot 0,9 - 1061,9 = 6282,1 \text{ ч} \quad (4.2.)$$

где  $K_{\Pi} = 0,8 \dots 0,9$  – планируемый коэффициент использования в смену;

$T_P$  – количество часов, затрачиваемых на ремонт в планируемом году

$$T_P = \frac{T_{\Gamma} \cdot (T_{\text{ТО}} \cdot N_{\text{ТО}}^{\text{II}} + T_{\text{Т}} \cdot N_{\text{Т}}^{\text{II}} + T_{\text{К}} \cdot N_{\text{К}}^{\text{II}})}{K} = \frac{8160 \cdot (25 \cdot 4 + 64 \cdot 11 + 336 \cdot 1)}{8760} = 1061,9 \text{ час} \quad (4.3.)$$

где  $T_{\text{ТО}}$ ,  $T_{\text{Т}}$ ,  $T_{\text{К}}$  – продолжительность, соответственно, одного технического обслуживания, текущего и капитального ремонтов, ч (таблица 4.1);

$N_{\text{ТО}}^{\text{II}}$ ,  $N_{\text{Т}}^{\text{II}}$ ,  $N_{\text{К}}^{\text{II}}$  - число в цикле, соответственно, технического обслуживания, текущего и капитального ремонтов, ед.;

$K = 8760$  ч - ремонтный цикл (таблица 4.1);

$H_K = 0$  - выработка предыдущего капитального ремонта;

$T_{\Gamma}$  - номинальный фонд времени работы,

$$T_{\Gamma} = D \cdot C \cdot \Pi = 340 \cdot 3 \cdot 8 = 8160 \text{ ч},$$

где D = 340 – количество рабочих в году;  
 С = 3 – количество смен работы в сутки;  
 П = 8 часов – продолжительность смены.

Количество капитальных ремонтов на текущий год принимается равным нулю.

Количество текущих ремонтов

$$N_T = \frac{H_{\Gamma} + H_T}{T} - N_K = \frac{6282,1 + 0}{730} - 0 = 8,4 \approx 8 \quad (4.4.)$$

где T = 730 ч - периодичность текущих ремонтов (таблица 4.1);  
 Н<sub>Т</sub> = 0 - выработка крана от предыдущего текущего ремонта.

Количество текущих ремонтов принимается равным восьми.

Количество технических осмотров

$$N_{TO} = \frac{H_{\Gamma} + H_{TO}}{T \ O} - N_K - NT = \frac{6282,1 + 0}{243} - 0 - 8 \approx 17,85 = 18 \quad (4.5)$$

где ТО = 243 ч - периодичность технических осмотров (таблица 4.1);  
 Н<sub>ТО</sub> = 0 - выработка от предыдущего технического обслуживания ремонта.

Количество технических осмотров принимается равным восемнадцати.

Для машины раздачи глинозема мрг-4

Количество капитальных ремонтов на текущий год

$$N_K = \frac{H_{\Gamma} + H_K}{K} = \frac{6282,1 + 0}{8760} = 0,7 \approx 0$$

$$H_{\Gamma} = T_{\Gamma} \cdot K_{\Pi}^{\Pi} - T_P = 8160 \cdot 0,9 - 1061,9 = 6282,1 \text{ ч}$$

$$T_P = \frac{T_{\Gamma} \cdot (T_{TO} \cdot N_{TO}^{\Pi} + T_T \cdot N_T^{\Pi} + T_K \cdot N_K^{\Pi})}{K} = \frac{8160 \cdot (25 \cdot 4 + 64 \cdot 11 + 336 \cdot 1)}{8760} = 1061,9 \text{ час}$$

текущего и капитального ремонтов, ед.;

K = 8760 ч - ремонтный цикл (таблица 4.1);

Н<sub>К</sub> = 0 - выработка предыдущего капитального ремонта;

T<sub>Г</sub> - номинальный фонд времени работы,

Количество капитальных ремонтов на текущий год принимается равным нулю.

Количество текущих ремонтов

$$N_T = \frac{H_{\Gamma} + H_T}{T} - N_K = \frac{6282,1 + 0}{730} - 0 = 8,4 \approx 8$$

Количество текущих ремонтов принимается равным восьми.

Количество технических осмотров

$$N_{TO} = \frac{H_{\Gamma} + H_{TO}}{T_{TO}} - N_K - N_T = \frac{6282,1 + 0}{243} - 0 - 8 \approx 17,85 = 18$$

где  $T_{TO} = 243$  ч - периодичность технических осмотров (таблица 4.1);

$H_{TO} = 0$  - выработка от предыдущего технического обслуживания ремонта.

Количество технических осмотров принимается равным семнадцати.

Для машины раздачи фтористых солей.

Количество капитальных ремонтов на текущий год

$$N_K = \frac{H_{\Gamma} + H_K}{K} = \frac{6606,3 + 0}{17520} = 0,37 \approx 0$$

$$H_{\Gamma} = T_{\Gamma} \cdot K_{\Pi} - T_P = 8160 \cdot 0,9 - 737,7 = 6606,3 \text{ ч}$$

$$T_P = \frac{T_{\Gamma} \cdot (T_{TO} \cdot N_{TO}^H + T_T \cdot N_T^H + T_K \cdot N_K^H)}{K} = \frac{8160 \cdot (48 \cdot 4 + 48 \cdot 23 + 288 \cdot 1)}{17520} = 737,7 \text{ час}$$

$K = 17520$  ч - ремонтный цикл (таблица 4.1);

$H_K = 0$  - выработка предыдущего капитального ремонта;

$T_{\Gamma}$  - номинальный фонд времени работы,

Количество капитальных ремонтов на текущий год принимается равным нулю.

Количество текущих ремонтов

$$N_T = \frac{H_{\Gamma} + H_T}{T} - N_K = \frac{6606,3 + 0}{730} - 0 = 9,05 \approx 9$$

Количество текущих ремонтов принимается равным девяти.

Количество технических осмотров

$$N_{TO} = \frac{H_{\Gamma} + H_{TO}}{T_{O}} - N_{\kappa} - NT = \frac{6606,3 + 0}{243} - 0 - 9 = 18,2 \approx 18$$

Количество технических осмотров принимается равным восемнадцати.

Для крана комплексного анодного "КАТУК" Г/П 2/6/25

Количество капитальных ремонтов на текущий год

$$N_{\kappa} = \frac{H_{\Gamma} + H_{\kappa}}{K} = \frac{7085,04 + 0}{35040} = 0,2$$

где  $H_{\Gamma}$  - планируемая выработка на год,

$$H_{\Gamma} = T_{\Gamma} \cdot K_{\text{И}}^{\text{П}} - T_{\text{Р}} = 8160 \cdot 0,9 - 258,96 = 7085,04 \text{ ч}$$

где  $K_{\text{И}}^{\text{П}} = 0,8 \dots 0,9$  – планируемый коэффициент использования в смену;

$T_{\text{Р}}$  – количество часов, затрачиваемых на ремонт в планируемом году

$$T_{\text{Р}} = \frac{T_{\Gamma} \cdot (T_{TO} \cdot N_{TO}^{\text{II}} + T_{\text{T}} \cdot N_{\text{T}}^{\text{II}} + T_{\kappa} \cdot N_{\kappa}^{\text{II}})}{K} = \frac{8160 \cdot (2 \cdot 96 + 16 \cdot 47 + 168 \cdot 1)}{35040} = 258,96 \text{ час}$$

где  $T_{TO}$ ,  $T_{\text{T}}$ ,  $T_{\kappa}$  – продолжительность, соответственно, одного технического обслуживания, текущего и капитального ремонтов, ч (таблица 4.1);

$N_{TO}^{\text{II}}, N_{\text{T}}^{\text{II}}, N_{\kappa}^{\text{II}}$  - число в цикле, соответственно, технического обслуживания, текущего и капитального ремонтов, ед.;

$K = 17520$  ч - ремонтный цикл (таблица 4.1);

$H_{\kappa} = 0$  - выработка предыдущего капитального ремонта;

$T_{\Gamma}$  - номинальный фонд времени работы,

Количество капитальных ремонтов на текущий год принимается равным нулю.

Количество текущих ремонтов

$$N_{\text{T}} = \frac{H_{\Gamma} + H_{\text{T}}}{T} - N_{\kappa} = \frac{7085,04 + 0}{730} - 0 \approx 9,7 = 10,$$

где  $T = 730$  ч - периодичность текущих ремонтов (таблица 4.1);

$H_{\text{T}} = 0$  - выработка крана от предыдущего текущего ремонта.

Количество текущих ремонтов принимается равным десяти.

Количество технических осмотров

$$N_{TO} = \frac{H_{\Gamma} + H_{TO}}{T_{O}} - N_K - NT = \frac{7085,04 + 0}{243} - 0 - 10 \approx 19,2 = 19$$

где  $T_{O} = 243$  ч - периодичность технических осмотров (таблица 4.1);

$H_{TO} = 0$  - выработка от предыдущего технического обслуживания ремонта.

Количество технических осмотров принимается равным девятнадцати.

Для крана мостового с эл. изоляцией Г/П 2\*160/32

Количество капитальных ремонтов на текущий год

$$N_K = \frac{H_{\Gamma} + H_K}{K} = \frac{7144,3 + 0}{43800} = 0,16 \approx 0$$

$$H_{\Gamma} = T_{\Gamma} \cdot K_{\Pi} - T_P = 8160 \cdot 0,9 - 199,7 = 7144,3 \text{ ч}$$

$$T_P = \frac{T_{\Gamma} \cdot (T_{TO} \cdot N_{TO}'' + T_T \cdot N_T'' + T_K \cdot N_K'')}{K} = \frac{8160 \cdot (120 \cdot 4 + 8 \cdot 59 + 120 \cdot 1)}{43800} = 199,7 \text{ час}$$

$K = 17520$  ч - ремонтный цикл (таблица 4.1);

$H_K = 0$  - выработка предыдущего капитального ремонта;

$T_{\Gamma}$  - номинальный фонд времени работы,

Количество капитальных ремонтов на текущий год принимается равным нулю.

Количество текущих ремонтов

$$N_T = \frac{H_{\Gamma} + H_T}{T} - N_K = \frac{7144,3 + 0}{730} - 0 \approx 9,7 = 10,$$

где  $T = 730$  ч - периодичность текущих ремонтов (таблица 4.1);

$H_T = 0$  - выработка крана от предыдущего текущего ремонта.

Количество текущих ремонтов принимается равным десяти.

Количество технических осмотров

$$N_{TO} = \frac{H_{\Gamma} + H_{TO}}{T_{O}} - N_K - NT = \frac{7144,3 + 0}{243} - 0 - 10 \approx 19,3 = 19$$

где  $T_O = 243$  ч - периодичность технических осмотров (таблица 4.1);

$H_{TO} = 0$  - выработка от предыдущего технического обслуживания ремонта.

Количество технических осмотров принимается равным девятнадцати.

Для крана Г/П 50/12.5

Количество капитальных ремонтов на текущий год

$$N_K = \frac{H_G + H_K}{K} = \frac{7193,7 + 0}{43800} = 0,16 \approx 0$$

$$H_G = T_G \cdot K_{\Pi} - T_P = 8160 \cdot 0,9 - 150,3 = 7193,7 \text{ ч}$$

$$T_P = \frac{T_G \cdot (T_{TO} \cdot N_{TO}'' + T_T \cdot N_T'' + T_K \cdot N_K'')}{K} = \frac{8160 \cdot (2 \cdot 120 + 59 \cdot 8 + 96 \cdot 1)}{43800} = 150,53 \text{ час}$$

$K = 17520$  ч - ремонтный цикл (табл. 4.1);

$H_K = 0$  - выработка предыдущего капитального ремонта;

$T_G$  - номинальный фонд времени работы,

Количество капитальных ремонтов на текущий год принимается равным нулю.

Количество текущих ремонтов

$$N_T = \frac{H_G + H_T}{T} - N_K = \frac{7193,7 + 0}{730} - 0 \approx 9,85 = 10,$$

Количество текущих ремонтов принимается равным десят

Количество технических осмотров

$$N_{TO} = \frac{H_G + H_{TO}}{T_O} - N_K - N_T = \frac{7193,7 + 0}{243} - 0 - 10 \approx 19,3 = 19$$

где  $T_O = 243$  ч - периодичность технических осмотров (табл. 4.1);

$H_{TO} = 0$  - выработка от предыдущего технического обслуживания ремонта.

Количество технических осмотров принимается равным девятнадцати.



Таблица 4.2 – Количество технических обслуживаний на каждое оборудование

| №  | ТО | Т  | К |
|--|----|----|---|
| Машина для пробивки<br>корки электролита мпк-<br>5 | 4  | 64 | 0 |
| Машина для раздачи<br>глинозема мрг-4              | 4  | 64 | 0 |
| Машина для раздачи<br>фтористых солей              | 4  | 48 | 0 |
| Кран комплексный<br>анодный "КАТУК" Г/П<br>2/6/25  | 2  | 16 | 0 |
| Кран мостовой Г/П 25                               | 4  | 8  | 0 |
| Кран мостовой Г/П<br>50/12.5                       | 2  | 8  | 0 |

Таблица 4.3 - График ППР оборудования на 2016 год

| № | Оборудование                                |   | 1кв                              |                                  |                                  |         | 2кв                              |                                  |                                  |         | 3кв                              |                                  |                                  |         | 4кв                              |                                  |                                  |         | Количество и продолжительность ремонтов |                 |    | Общая продолжител. |
|---|---|---|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------|---|-----------------|----|--------------------|
|   |   |   | январь                           | февраль                          | март                             | простои | Апрель                           | май                              | июнь                             | простои | Июль                             | август                           | сентябрь                         | простои | октябрь                          | ноябрь                           | декабрь                          | простои | ТО                                      | Т               | К  |                    |
| 1 | 2   | 3 | 4                                | 5                                | 6                                | 7       | 8                                | 9                                | 10                               | 11      | 12                               | 13                               | 14                               | 15      | 16                               | 17                               | 18                               | 19      | 20                                      | 21              | 22 | 23                 |
| 1 | Машина для пробивки корки электролита мпк-5 | 1 | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{2ТО}{4}$                  | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | 144     | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{3ТО}{4}$                  | 148     | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{3ТО}{4}$                  | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | 148     | $\frac{2ТО}{4}$                  | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | 144     | $\frac{18}{72}$                         | $\frac{8}{512}$ | 0  | 584                |
|   |   | 2 | $\frac{2ТО}{4}$                  | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | 144     | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{3ТО}{4}$                  | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | 148     | $\frac{3ТО}{4}$                  | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | 148     | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{2ТО}{4}$                  | 144     | $\frac{18}{72}$                         | $\frac{8}{512}$ | 0  | 584                |
|   |   | 3 | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{2ТО}{4}$                  | 144     | $\frac{3ТО}{4}$                  | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | 148     | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{3ТО}{4}$                  | 148     | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{2ТО}{4}$                  | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | 144     | $\frac{18}{72}$                         | $\frac{8}{512}$ | 0  | 584                |
|   |   | 4 | $\frac{2ТО}{4}$                  | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | 144     | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{3ТО}{4}$                  | 148     | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{3ТО}{4}$                  | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | 148     | $\frac{2ТО}{4}$                  | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{2ТО}{4}$                  | 144     | $\frac{18}{72}$                         | $\frac{8}{512}$ | 0  | 584                |
|   |   | 5 | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{2ТО}{4}$                  | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | 144     | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{3ТО}{4}$                  | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | 148     | $\frac{3ТО}{4}$                  | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | 148     | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{ТО}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{2ТО}{4}$                  | 144     | $\frac{18}{72}$                         | $\frac{8}{512}$ | 0  | 584                |

Продолжение таблица 4.3

| 1 | 2                                  | 3 | 4                                | 5                                | 6                                | 7   | 8                                | 9                                | 10                               | 11  | 12                                | 13                               | 14                               | 15  | 16                               | 17                               | 18                               | 19  | 20              | 21              | 22 | 23  |
|---|------------------------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----|-----------------|-----------------|----|-----|
| 2 | Машина для раздачи глинозема мрг-4 | 1 | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{2TO}{4}$                  | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | 144 | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{3TO}{4}$                  | 148 | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$  | $\frac{3TO}{4}$                  | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | 148 | $\frac{2TO}{4}$                  | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | 144 | $\frac{18}{72}$ | $\frac{8}{512}$ | 0  | 584 |
|   |                                    | 2 | $\frac{2TO}{4}$                  | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | 144 | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{3TO}{4}$                  | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | 148 | $\frac{3TO}{4}$                   | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | 148 | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{2TO}{4}$                  | 144 | $\frac{18}{72}$ | $\frac{8}{512}$ | 0  | 584 |
|   |                                    | 3 | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{2TO}{4}$                  | 144 | $\frac{3TO}{4}$                  | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | 148 | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$  | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{3TO}{4}$                  | 148 | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{2TO}{4}$                  | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | 144 | $\frac{18}{72}$ | $\frac{8}{512}$ | 0  | 584 |
|   |                                    | 4 | $\frac{2TO}{4}$                  | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | 144 | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{3TO}{4}$                  | 148 | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$  | $\frac{3TO}{4}$                  | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | 148 | $\frac{2TO}{4}$                  | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{2TO}{4}$                  | 144 | $\frac{18}{72}$ | $\frac{8}{512}$ | 0  | 584 |
|   |                                    | 5 | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{2TO}{4}$                  | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | 144 | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{3TO}{4}$                  | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | 148 | $\frac{3TO}{4}$                   | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | 148 | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{64}$ | $\frac{2TO}{4}$                  | 112 | $\frac{18}{72}$ | $\frac{8}{512}$ | 0  | 584 |
| 3 | Машина для раздачи фтористых солей | 1 | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{48}$ | $\frac{2TO}{4}$                  | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{48}$ | 112 | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{48}$ | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{48}$ | $\frac{3TO}{4}$                  | 116 | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{2T}{48}$ | $\frac{3TO}{4}$                  | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{48}$ | 164 | $\frac{2TO}{4}$                  | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{48}$ | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{48}$ | 112 | $\frac{18}{72}$ | $\frac{9}{432}$ | 0  | 504 |
|   |                                    | 2 | $\frac{2TO}{4}$                  | $\frac{TO}{4}$                   | $\frac{TO}{4}$                   | 112 | $\frac{TO}{4}$                   | $\frac{3TO}{4}$                  | $\frac{TO}{4}$                   | 116 | $\frac{3TO}{4}$                   | $\frac{TO}{4}$                   | $\frac{TO}{4}$                   | 164 | $\frac{TO}{4}$                   | $\frac{TO}{4}$                   | $\frac{2TO}{4}$                  | 112 | $\frac{18}{72}$ | $\frac{9}{432}$ | 0  | 504 |

|  |  |  |  |                |                |  |                |  |                |  |  |                |                 |  |                |                |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|----------------|----------------|--|----------------|--|----------------|--|--|----------------|-----------------|--|----------------|----------------|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  | $\frac{T}{48}$ | $\frac{T}{48}$ |  | $\frac{T}{48}$ |  | $\frac{T}{48}$ |  |  | $\frac{T}{48}$ | $\frac{2T}{48}$ |  | $\frac{T}{48}$ | $\frac{T}{48}$ |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|----------------|----------------|--|----------------|--|----------------|--|--|----------------|-----------------|--|----------------|----------------|--|--|--|--|--|--|

Продолжение таблица 4.3

| 1 | 2   | 3 | 4                                | 5                                | 6                                | 7   | 8                                | 9                                 | 10                                | 11  | 12                               | 13                                | 14                                | 15  | 16                               | 17                               | 18                                | 19  | 20              | 21               | 22 | 23  |
|---|---|---|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----|-----------------|------------------|----|-----|
| 3 | Машина для раздачи фтористых солей          | 3 | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{48}$ | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{48}$ | $\frac{2TO}{4}$                  | 112 | $\frac{3TO}{4}$                  | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{48}$  | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{48}$  | 116 | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{48}$ | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{2T}{48}$ | $\frac{3TO}{4}$                   | 164 | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{48}$ | $\frac{2TO}{4}$                  | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{48}$  | 112 | $\frac{18}{72}$ | $\frac{9}{432}$  | 0  | 504 |
|   |   | 4 | $\frac{2TO}{4}$                  | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{48}$ | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{48}$ | 112 | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{48}$ | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{2T}{48}$ | $\frac{3TO}{4}$                   | 164 | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{48}$ | $\frac{3TO}{4}$                   | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{48}$  | 116 | $\frac{2TO}{4}$                  | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{48}$ | $\frac{2TO}{4}$<br>$\frac{T}{48}$ | 112 | $\frac{18}{72}$ | $\frac{9}{432}$  | 0  | 504 |
|   |   | 5 | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{48}$ | $\frac{2TO}{4}$                  | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{48}$ | 112 | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{48}$ | $\frac{3TO}{4}$                   | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{2T}{48}$ | 164 | $\frac{3TO}{4}$                  | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{48}$  | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{48}$  | 116 | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{48}$ | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{48}$ | $\frac{2TO}{4}$                   | 112 | $\frac{18}{72}$ | $\frac{9}{432}$  | 0  | 504 |
| 4 | Кран комплексный анодный "КАТУК" Г/П 2/6/25 | 1 | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{T}{16}$ | $\frac{2TO}{2}$                  | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{T}{16}$ | 40  | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{T}{16}$ | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{2T}{16}$ | $\frac{3TO}{2}$                   | 58  | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{T}{16}$ | $\frac{3TO}{2}$                   | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{2T}{16}$ | 58  | $\frac{3TO}{2}$                  | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{T}{16}$ | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{T}{16}$  | 42  | $\frac{19}{38}$ | $\frac{10}{160}$ | 0  | 198 |
|   |   | 2 | $\frac{2TO}{2}$                  | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{T}{16}$ | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{T}{16}$ | 40  | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{T}{16}$ | $\frac{3TO}{2}$                   | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{2T}{16}$ | 58  | $\frac{3TO}{2}$                  | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{2T}{16}$ | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{T}{16}$  | 58  | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{T}{16}$ | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{T}{16}$ | $\frac{3TO}{2}$                   | 42  | $\frac{19}{38}$ | $\frac{10}{160}$ | 0  | 198 |
| 5 | Кран мостовой Г/П 25                        | 1 | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{8}$  | $\frac{2TO}{4}$                  | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{8}$  | 32  | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{8}$  | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{2T}{8}$  | $\frac{3TO}{4}$                   | 44  | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{8}$  | $\frac{3TO}{4}$                   | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{2T}{8}$  | 44  | $\frac{3TO}{4}$                  | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{8}$  | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{8}$   | 36  | $\frac{19}{76}$ | $\frac{10}{80}$  | 0  | 156 |

|  |  |   |                 |                                 |                                 |    |                                  |                 |                                 |    |                 |                                  |                                 |    |                                 |                                 |                 |    |                 |                 |   |     |
|--|--|---|-----------------|---------------------------------|---------------------------------|----|----------------------------------|-----------------|---------------------------------|----|-----------------|----------------------------------|---------------------------------|----|---------------------------------|---------------------------------|-----------------|----|-----------------|-----------------|---|-----|
|  |  | 2 | $\frac{2TO}{4}$ | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{8}$ | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{8}$ | 32 | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{2T}{8}$ | $\frac{3TO}{4}$ | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{8}$ | 44 | $\frac{3TO}{4}$ | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{2T}{8}$ | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{8}$ | 44 | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{8}$ | $\frac{TO}{4}$<br>$\frac{T}{8}$ | $\frac{3TO}{4}$ | 36 | $\frac{19}{76}$ | $\frac{10}{80}$ | 0 | 156 |
|--|--|---|-----------------|---------------------------------|---------------------------------|----|----------------------------------|-----------------|---------------------------------|----|-----------------|----------------------------------|---------------------------------|----|---------------------------------|---------------------------------|-----------------|----|-----------------|-----------------|---|-----|

Окончание таблицы 4.3

| 1 | 2                            | 3 | 4                               | 5                               | 6                               | 7  | 8                               | 9                                | 10                               | 11 | 12                               | 13                              | 14                               | 15 | 16                              | 17                              | 18                              | 19 | 20              | 21              | 22 | 23  |
|---|------------------------------|---|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----|-----------------|-----------------|----|-----|
| 6 | Кран мостовой Г/П<br>50/12.5 | 1 | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{T}{8}$ | $\frac{2TO}{2}$                 | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{T}{8}$ | 24 | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{T}{8}$ | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{2T}{8}$ | $\frac{3TO}{2}$                  | 34 | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{2T}{8}$ | $\frac{3TO}{2}$                 | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{T}{8}$  | 34 | $\frac{3TO}{2}$                 | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{T}{8}$ | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{T}{8}$ | 26 | $\frac{19}{38}$ | $\frac{10}{80}$ | 0  | 118 |
|   |                              | 2 | $\frac{2TO}{2}$                 | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{T}{8}$ | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{T}{8}$ | 24 | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{T}{8}$ | $\frac{3TO}{2}$                  | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{2T}{8}$ | 34 | $\frac{3TO}{2}$                  | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{T}{8}$ | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{2T}{8}$ | 34 | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{T}{8}$ | $\frac{TO}{2}$<br>$\frac{T}{8}$ | $\frac{3TO}{2}$                 | 26 | $\frac{19}{38}$ | $\frac{10}{80}$ | 0  | 118 |

Таблица 4.4 – График ППР на Апрель

| № п/п | Оборудование                                | Инвент Номер | Числа месяца |   |   |         |         |   |   |         |         |         |         |    |    |    |         |    |         |    |    |        |    |    |         |    |        |         |    |    |    |         | Продолжитель-<br>ность |         |    | Общая<br>продолжит<br>ельность<br>ремонтов,<br>ч |
|-------|---|--------------|--------------|---|---|---------|---------|---|---|---------|---------|---------|---------|----|----|----|---------|----|---------|----|----|--------|----|----|---------|----|--------|---------|----|----|----|---------|------------------------|---------|----|--|
|       |   |              | 1            | 2 | 3 | 4       | 5       | 6 | 7 | 8       | 9       | 10      | 11      | 12 | 13 | 14 | 15      | 16 | 17      | 18 | 19 | 20     | 21 | 22 | 23      | 24 | 25     | 26      | 27 | 28 | 29 | 30      | ТО                     | Т       | К  |  |
| 1     | Машина для пробивки корки электролита мпк-5 | 1            |              |   |   | ТО<br>4 |         |   |   |         |         |         |         |    |    |    |         |    | Т<br>64 |    |    |        |    |    |         |    |        |         |    |    |    | ТО<br>4 | Т<br>64                | -       | 68 |  |
| 2     | Машина для раздачи глинозема мрг-4          | 2            |              |   |   |         |         |   |   |         |         |         | ТО<br>4 |    |    |    |         |    |         |    |    |        |    |    |         |    |        | Т<br>64 |    |    |    |         | ТО<br>4                | Т<br>64 | -  | 68   |
| 3     | Машина для раздачи фтористых солей          | 3            |              |   |   |         |         |   |   | ТО<br>4 |         |         |         |    |    |    |         |    |         |    |    |        |    |    | Т<br>48 |    |        |         |    |    |    |         | ТО<br>4                | Т<br>48 | -  | 52   |
| 4     | Кран комплексный анодный "КАТУК" Г/П 2/6/25 | 4            |              |   |   |         | ТО<br>2 |   |   |         |         |         |         |    |    |    | Т<br>16 |    |         |    |    |        |    |    |         |    |        |         |    |    |    | ТО<br>2 | Т<br>16                | -       | 18 |  |
| 5     | Кран мостовой Г/П 25                        | 5            |              |   |   |         |         |   |   |         |         | ТО<br>4 |         |    |    |    |         |    |         |    |    |        |    |    |         |    | Т<br>8 |         |    |    |    |         | ТО<br>4                | Т<br>8  | -  | 12   |
| 6     | Кран мостовой Г/П 50/12.5                   | 6            |              |   |   |         |         |   |   |         | ТО<br>2 |         |         |    |    |    |         |    |         |    |    | Т<br>8 |    |    |         |    |        |         |    |    |    | ТО<br>2 | Т<br>8                 | -       | 10 |  |

### 4.3 Расчёт численности ремонтного персонала

Численность ремонтного персонала определяем методом нормативной трудоёмкости, который является наиболее точным [17].

Годовые суммарные трудозатраты.

Годовые суммарные трудозатраты определяются как:

$$T_H = \sum_{i=1}^n \left[ (t_{TO}^1 + t_T^1 + t_K^1) \cdot N^1 + (t_{TO}^2 + t_T^2 + t_K^2) \cdot N^2 + \dots + (t_{TO}^n + t_T^n + t_K^n) \cdot N^n \right] \quad (4.6.)$$

где  $t_{TO}^1, t_{TO}^2, t_{TO}^n$  - нормативная среднегодовая трудоёмкость технических обслуживаний отдельных видов оборудования, чел.-ч;  $t_T^1, t_T^2, t_T^n$  - нормативная среднегодовая трудоёмкость текущих ремонтов отдельных видов оборудования, чел.-ч;  $t_K^1, t_K^2, t_K^n$  - нормативная среднегодовая трудоёмкость капитальных ремонтов отдельных видов оборудования, чел.-ч;  $N^1, N^2, N^n$  - число единиц отдельных видов оборудования, принятых к эксплуатации.

Плановая численность производственных рабочих.

$$T_H = (200 + 704 + 250) \cdot 5 + (275 + 704 + 346) \cdot 5 + (96 + 587 + 151) \cdot 5 + (288 + 4136 + 630) \cdot 2 + (288 + 1416 + 192) + (192 + 1132,8 + 115,2) \cdot 2 = 31449 \text{ чел. ч}$$

Плановую численность производственных рабочих, необходимых для выполнения годового объёма ремонтных работ, определяют как:

$$M = \frac{\alpha \cdot T_H}{D_p \cdot \kappa_{п.в.}} = \frac{1,5 \cdot 31449}{1,1 \cdot 1792} \approx 24 \text{ чел.} \quad (4.7.)$$

где  $\alpha=1,4 \dots 1,7$  – коэффициент, учитывающий выполнение внеплановых работ;  $D_p$  – номинальный годовой фонд времени одного рабочего, ч, определяемый по формуле  $D_p = 8 \cdot (365 - B - П - O) \cdot \kappa_{п.}$ , где  $B$  – количество выходных дней в планируемом году;  $П$  – количество праздничных дней;  $O$  – средняя продолжительность отпуска производственного рабочего;  $\kappa_{п.}=0,95 \dots 0,98$  – коэффициент, учитывающий потери времени рабочего по уважительным причинам (болезни и т.д.).  $\kappa_{п.в.}=1,1 \dots 1,15$  – коэффициент выполнения норм выработки рабочими.

Ориентировочный штат ремонтных рабочих.

Численность вспомогательных и подсобных рабочих (транспортного отдела, инструментального, ОТК, заточники, кладовщики и т.д.) принимают равной:

$$M_B = M \cdot 0,12 = 24 \cdot 0,12 = 2,8 \approx 3 \text{ чел.} \quad (4.8.)$$

Численность инженерно-технических работников принимают равной:

$$M_H = (M + M_B) \cdot 0,09 = 27 \cdot 0,09 = 2,43 \approx 3 \text{ чел.} \quad (4.9.)$$

Численность счётно-нормировочного состава определяют так:

$$M_C = (M + M_B + M_H) \cdot 0,05 = 30 \cdot 0,05 = 1,5 \approx 2 \text{ чел.} \quad (4.10)$$

Численность младшего обслуживающего персонала.

Численность младшего обслуживающего персонала (уборщицы помещений, дворники, гардеробщики, телефонистки и др.) определяют по выражению:

$$M_M = (M + M_B + M_H + M_C) \cdot 0,03 = 32 \cdot 0,03 = 0,96 \approx 1 \text{ чел.} \quad (4.11.)$$

Численность всего работающего персонала по категориям работы приведена в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Численность персонала

| Категория работ                        | Численность персонала |
|--|-----------------------|
| Слесари и электрослесари               | 14                    |
| Токари-станочники                      | 5                     |
| Электрогазосварщики                    | 2                     |
| Прочие (разметчики, контролёры и т.д.) | 1                     |
| Вспомогательные рабочие                | 3                     |
| ИТР                                    | 3                     |
| Счётно-нормировочный состав            | 2                     |
| МОП                                    | 1                     |
| Итого                                  | 31                    |

#### 4.4 Расчёт станочного оборудования

Количество станков определяют по формуле:

$$N_{CT} = \frac{\delta \cdot \alpha \cdot T_H}{m \cdot D \cdot \kappa_{и}}, \quad (4.12)$$



где  $\delta = 0,3 \dots 0,35$  – коэффициент станочных работ;  $m$  – число смен работы станков в сутки;  $D = 2040$  часов – годовой фонд рабочего времени одного станка;  $\kappa_{\text{и}} = 0,6 \dots 0,65$  – коэффициент использования станков в течение смены.

$$N_{\text{ст}} = \frac{0,35 \cdot 1,7 \cdot 31449}{2 \cdot 0,6 \cdot 2040} = 7,6 \approx 8 \text{ принимаем восемь станков.}$$

По условным соотношениям производим распределение станков по видам работ, которое представлено в таблице 4.6

Таблица 4.6 – Распределение станков по видам работ

| № | Тип станка          | Количество | Модель |
|---|---------------------|------------|--------|
| 1 | Токарно-винторезные | 3          | 1К62   |
| 2 | Сверлильные         | 2          | 2 В697 |
| 3 | Фрезерные           | 1          | 6Н82   |
| 4 | Зуборезные          | 1          | 7417   |
| 5 | Заточные            | 1          | 283А   |

#### 4.5 Проектирование ремонтной базы

Расчёт производственных площадей производим в зависимости от количества рассчитанного станочного оборудования.

Площадь механического отделения:

$$F = \sum_{i=1}^n N_{\text{СТ}i} \cdot f_o, \quad (4.13)$$

где  $N_{\text{СТ}i}$  – количество оборудования определённого типа;  $n$  – количество станков  $i$ -го типа;  $f_o$  – удельная площадь, приходящаяся на единицу оборудования,  $\text{м}^2$ ,

$$F = \sum N_{\text{СТ}i} \cdot f_o = 3 \cdot 21 + 2 \cdot 20 + 1 \cdot 20 + 1 \cdot 24 + 1 \cdot 15 = 162, \text{м}^2;$$

Площадь вспомогательных помещений:

$$F_B = F \cdot 0,25 = 162 \cdot 0,25 = 40,5 \text{ м}^2 \quad (4.14.)$$

Площадь административных помещений:

$$F_A = F \cdot 0,06 = 607 \cdot 0,06 = 36,42 \text{ м}^2 \quad (4.15.)$$

Площадь бытовых помещений:

$$F_B = F \cdot 0,15 = 607 \cdot 0,15 = 91,1 \text{ м}^2 \quad (4.17)$$

Таблица 4.7 – Площади остальных производственных цехов и отделений, м<sup>2</sup>

| №  | Цех или отделение                         | F, м <sup>2</sup> |
|--|---|-------------------|
| 1  | Участок наружной мойки                    | 35                |
| 2  | Участок разборки оборудования             | 30                |
| 3  | Отделение мойки деталей                   | 25                |
| 4  | Отделение сортировки                      | 25                |
| 5  | Отделение комплектовки                    | 30                |
| 6  | Испытательное отделение                   | 35                |
| 7  | Отделение ремонта электрооборудования     | 35                |
| 8  | Отделение ремонта корпусных деталей и рам | 25                |
| 9  | Цех сборки машин и агрегатов              | 35                |
| 10   | Малярное отделение                        | 50                |
| 11   | Кузнечно-прессовое отделение              | 35                |
| 12   | Термическое отделение                     | 25                |
| 13   | Электрогазосварочное отделение            | 30                |
| 14   | Гальваническое отделение                  | 30                |
| 15   | Механический цех                          | 162               |
| Общая площадь производственных цехов и отделений |   | 607               |

Общая площадь ремонтной базы:

$$F_{\text{общ}} = F_B + F_A + F_B + F_O = 151,75 + 36,42 + 91,1 + 607 = 886,27 \text{ м}^2 .$$

Таблица 4.8 – Общая площадь ремонтной базы

| № | Отделение                                      | Площадь расчетная, м <sup>2</sup> |
|---|--|-----------------------------------|
| 1 | Площадь участка наружной мойки.                | 35                                |
| 2 | Площадь участка сортировки.                    | 25                                |
| 3 | Площадь участка кузнечно-прессового отделения. | 35                                |
| 4 | Площадь участка разборки оборудования          | 30                                |

Продолжение таблицы 4.8

|    |   |        |
|----|---|--------|
| 5  | Площадь отделения мойки деталей                   | 25     |
| 6  | Площадь отделения ремонта электрооборудования     | 35     |
| 7  | Площадь отделения ремонта корпусных деталей и рам | 25     |
| 8  | Площадь отделения сборки машин и агрегатов        | 35     |
| 9  | Площадь малярного отделения                       | 50     |
| 10 | Площадь термического отделения                    | 25     |
| 11 | Площадь электрогазосварочного отделения           | 30     |
| 12 | Площадь вспомогательных помещений                 | 151,75 |
| 13 | Площадь административных помещений                | 36,42  |
| 14 | Площадь бытовых помещений                         | 91,1   |
| 15 | Производственная площадь механического отделения  | 162    |
| 16 | Площадь отделения комплектовки                    | 30     |
| 17 | Площадь испытательного отделения                  | 35     |
| 18 | Площадь гальванического отделения                 | 30     |
| 19 | Общая площадь                                     | 886,27 |

#### 4.6 Выбор схемы ремонтной базы

Схемы, конструкции и размеры производственных машиностроительных зданий унифицированы и регламентируются нормами Госстроя СН-118-68. Эти нормы применяют и для проектирования ремонтных предприятий [17].

Унифицированные здания предусматривают блочное размещение цехов и отделений предприятия, как правило, в одном многопролётном здании. Такое размещение цехов и отделений значительно снижает стоимость строительства и эксплуатации зданий, улучшает условия маневрирования при перепланировке производства. Здания в плане должны быть близкими к квадрату или короткому прямоугольнику. В этом случае при одной и той же площади периметр здания является минимальным.

В соответствии с рассчитанной общей площадью ремонтной базы и площадями цехов и отделений определяется длина и ширина здания таким образом, чтобы они были кратны шагу колонн, принимаемому по табл. 6 [2].

В связи с производственной необходимостью схема производственного потока ремонта принимается прямоточная, без встречных и перекрестных грузопотоков.

Все цехи и отделения делятся на зоны:

1. Зона разборки. В неё входят участки: разборки и мойки оборудования, отделение сортировки, контрольно-сортировочный склад деталей;

2. Зона сборки. В неё входят отделения: комплектовки, испытательное, малярное; цех сборки машин и агрегатов;

3. Зона холодной обработки. В неё входят отделения ремонта электрооборудования и корпусных деталей, механический цех;

4. Зона горячей обработки. В нее входят термическое, гальваническое, штамповочное, кузнечно-прессовое отделения;

5. Зона сварки, в которую входят электрогазосварочное и газо-термическое отделения;

6. Зона вспомогательных цехов и служб: инструментальное и заточное отделения, склады, трансформаторная подстанция и компрессорная станция;

7. Зона движения грузопотоков;

8. Зона административных помещений;

9. Зона бытовых помещений.

Зоны 8 и 9 располагаются на верхних этажах в торцевой (или продольной) части здания.

Технологическая схема ремонтной базы предприятия с прямолинейной зоной движения грузопотоков приведена на рисунке 4.1.



Рисунок 4.1 – Технологическая схема ремонтной базы предприятия с прямолинейной зоной движения грузопотоков.

В соответствии со схемой производства эти зоны наносим на план ремонтной базы, а затем в каждой зоне размещаем соответствующие цехи, отделения и службы.

#### 4.7 Определение параметров пролета здания ремонтной базы

Основными параметрами пролета здания являются: ширина пролета  $L$ ; шаг колонн  $t$  в направлении продольной оси пролета; сетка колонн  $L \times t$ ; высота до подкрановых путей  $H_1$ ; высота пролета  $H$  (расстояние от пола до нижней части несущих конструкций перекрытия); строительная высота  $H_C$ ; длина пролета  $S$  (расстояние между осями крайних колонн здания в направлении продольной оси пролета).

Принимаем одноэтажное здание с мостовым краном.

Высоту до подкрановых путей определяют по формуле:

$$H_1 = A + B = 3,6 + 4 = 7,6, м; \quad (4.18)$$

где  $A$  – максимальная высота станков, м.;

$B$  – зазор между станками и краном, м.

Принимаем стандартное  $H_1 = 8,15$  м. [7, с.22].

Высоту пролёта определяют по формуле:

$$H = H_1 + h = 8,15 + 2 = 10,15, м; \quad (4.19)$$

где  $h$  – расстояние от рельсовых путей до нижней части фермы.

По стандарту принимаем  $H = 10,8$  м. [7, с.22].

Строительную высоту определяют по формуле:

$$H_c = H + a = 10,8 + 2 = 12,8, м; \quad (4.20)$$

где  $a$  – высота фермы, м.

Длину пролёта определяют по формуле:

$$S = t \cdot n = 6 \cdot 3 = 18, м; \quad (4.21)$$

где  $n$  – число шагов колонн;

$t$  – шаг колонн.

## 4.8 Управление механической службой

Управление механической службой осуществляет главный механик, который отвечает за безотказную работу, своевременное техническое обслуживание и ремонт всего технологического оборудования на предприятии. Структура механической службы предприятия представлена на рисунке 4.2.

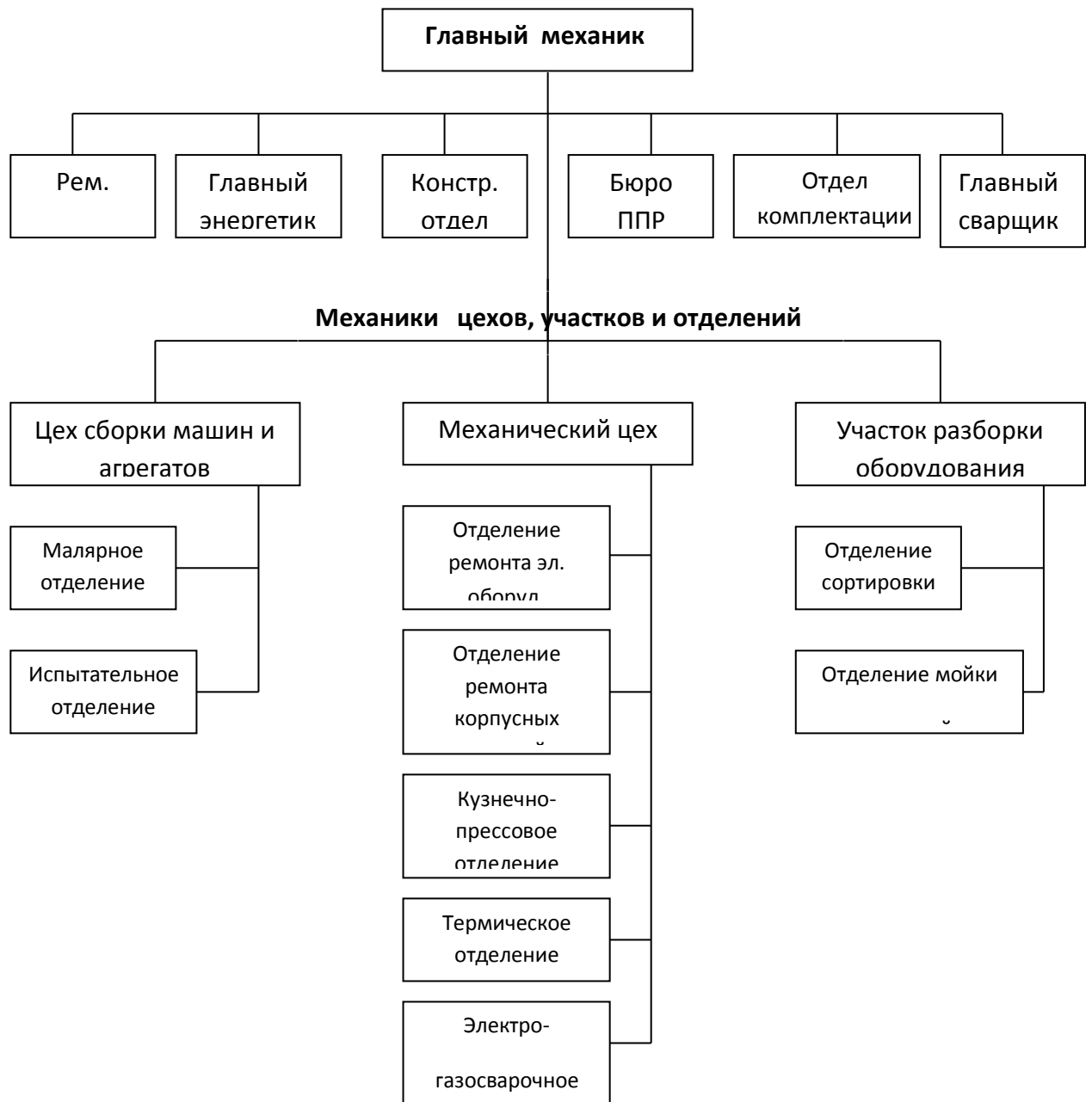


Рисунок 4.2 – Структура механической службы предприятия

## 5. Повышение эффективности монтажа мостового крана

### 5.1 Внедрение способа выверки лазерным датчиком

Методы выверки валов на соосность в современных условиях можно заменить на выверку с помощью лазерного датчика, для повышения эффективности сборки.

Традиционные методы выверки просты, но они не обеспечивают точность, необходимую для работы современных механизмов. Методы, основанные на использовании поверочной линейки или измерительных щупов, позволяют проводить операцию выверки достаточно быстро, но являются приближёнными. Другой метод, с применением индикаторов часового типа. Обеспечивает высокую точность, но требует квалифицированного персонала и сравнительно много времени.

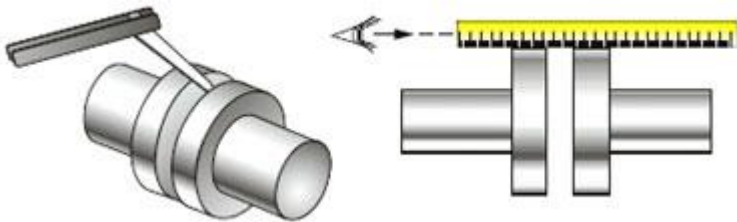


Рисунок 5.1 – Применение поверочной линейки и измерительных щупов

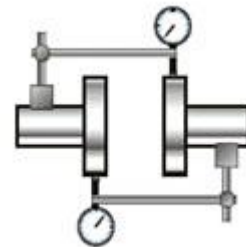


Рисунок 5.2 – Применение индикатора часового типа

Лазерный метод позволяет существенно улучшить процесс выверки валов по сравнению с традиционными методами. Применение лазерного оборудования обеспечивает более быструю и точную регулировку.

Точная центровка валов позволяет:

- Продлить срок службы подшипника;
- Снизить нагрузку на муфту, а следовательно уменьшить риск нагрева и поломки;
- Снизить износ уплотнений, уменьшая риск загрязнений и вытекания масла;
- Снизить трение, а следовательно и энергопотребление;
- Уменьшить вибрацию и шум;
- Увеличить время работы, эффективность и производительность;
- Снизить расходы на замену компонентов и издержки, связанные с простоем машин.

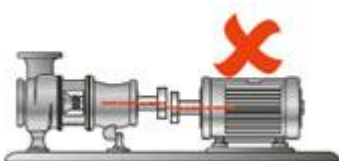


Рисунок 5.3 – Плоско-параллельная несоосность (или сдвиг)

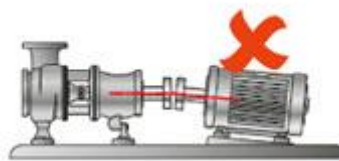


Рисунок 5.4 – Угловая несоосность

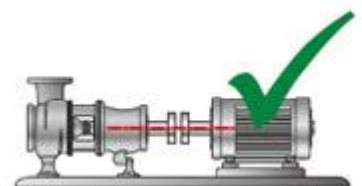


Рисунок 5.5 – Точная соосность

Данный прибор представляет собой надёжный прибор для лазерной выверки соосности валов, который можно использовать в тяжёлых промышленных условиях. Система обеспечивает выполнение всех этапов процедуры выверки – от оценки состояния машины перед выверкой до составления отчётов и анализа проведённых работ. Система использует новейшие знания о выверке соосности, а также опыт, накопленный за десятилетия работы с ротационным оборудованием.

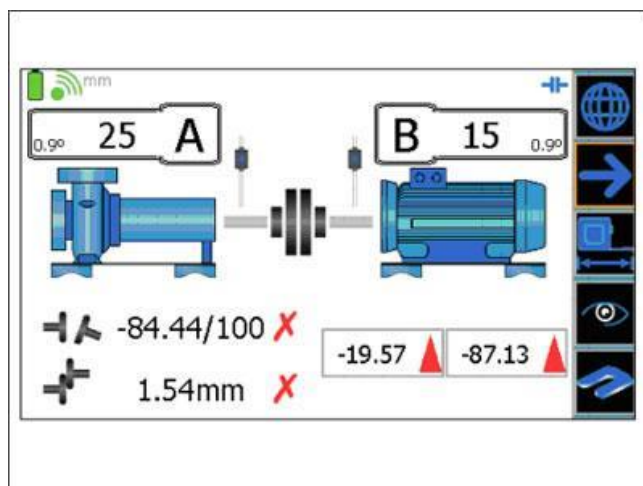


Рисунок 5.6 – Схема выверки на соосность лазерным датчиком

Прибор состоит из: блока отображения данных, измерительного блока, механических призм для крепежа на валу, регулируемые цепи со штифтом затяжки стержней.

## 5.2 Внедрение лазерного дальномера для выверки подкрановых путей

Лазерный дальномер — прибор для измерения расстояний с применением лазерного луча.

При использовании лазерного дальномера в сборке и монтаже механического оборудования, а так же при выверке подкрановых путей сократит время.

Лазерный дальномер это устройство, состоящее из импульсного лазера и детектора излучения. Измеряя время, которое затрачивает луч на путь до отражателя и обратно и зная значение скорости света, можно рассчитать расстояние между лазером и отражающим объектом.



Рисунок 5.7 – Современные модели лазерных дальномеров



электромагнитного излучения распространяться с постоянной скоростью дает возможность определять дальность до объекта. Так, при импульсном методе дальнометрирования используется следующее соотношение:

$$L=ct/2n$$

где  $L$  — расстояние до объекта, скорость света в вакууме показатель преломления среды, в которой распространяется излучение,  $t$  — время прохождения импульса до цели и обратно.

Рассмотрение этого соотношения показывает, что потенциальная точность измерения дальности определяется точностью измерения времени прохождения импульса энергии до объекта и обратно. Ясно, что чем короче импульс, тем лучше.

### 5.2.1 Физические основы измерений и принцип действия

Задача определения расстояния между дальномером и целью сводится к измерению соответствующего интервала времени между зондирующим сигналом и сигналом, отражения от цели. Различают три метода измерения дальности в зависимости от того, какой характер модуляции лазерного излучения используется в дальномере: импульсный, фазовый или фазово-импульсный. Сущность импульсного метода дальнометрирования состоит в том, что к объекту посылается зондирующий импульс, он же запускает временной счетчик в дальномере. Когда отраженный объектом импульс приходит к дальномеру, то он останавливает работу счетчика. По временному интервалу автоматически высвечивается перед оператором расстояние до объекта.

При фазовом методе дальнометрирования лазерное излучение модулируется по синусоидальному закону. При этом интенсивность излучения меняется в значительных пределах. В зависимости от дальности до объекта изменяется фаза сигнала, упавшего на объект. Отраженный от объекта сигнал придет на приемное устройство также с определенной фазой, зависящей от расстояния. Оценим погрешность фазового дальномера, пригодного работать в полевых условиях. Специалисты утверждают, что оператору не сложно определить фазу с ошибкой не более одного градуса.

По принципу действия дальномеры подразделяются на две основные группы, геометрического и физического типов.



Рисунок 5.8 – Принцип действия дальномера

Первую группу составляют геометрические дальномеры. Измерение расстояний дальномером такого типа основано на определении высоты  $h$  равнобедренного треугольника  $ABC$  (рисунок 5.9) например по известной стороне  $AB = I$  (базе) и противолежащему острому углу. Одна из величин,  $I$  обычно является постоянной, а другая — переменной (измеряемой). По этому признаку различают дальномеры с постоянным углом и дальномеры с постоянной базой. Дальномер с постоянным углом представляет собой подзорную трубу с двумя параллельными нитями в поле зрения, а базой служит переносная рейка с равноотстоящими делениями. Измеряемое дальномером расстояние до базы пропорционально числу делений рейки, видимых в зрительную трубу между нитями. По такому принципу работают многие геодезические инструменты (теодолиты, нивелиры и др.). Относительная погрешность нитяного дальномера — 0,3-1%. Более сложные оптические дальномеры с постоянной базой, построены на принципе совмещения изображений объекта, построенными лучами прошедшими различные оптические системы дальномера. Совмещение производится с помощью оптического компенсатора, расположенного в одной из оптических систем, а результат измерения прочитывается по специальной шкале. Монокулярные дальномеры с базой 3-10 см широко применяются в качестве фотографических дальномеров. Погрешность оптических дальномеров с постоянной базой менее 0,1% от измеряемого расстояния.

Принцип действия дальномера физического типа состоит в измерении времени, которое затрачивает посланный дальномером сигнал для прохождения расстояния до объекта и обратно. Способность электромагнитного излучения распространяться с постоянной скоростью дает возможность определять дальность до объекта. Различают импульсный и фазовый методы измерения дальности.

При импульсном методе к объекту посылается зондирующий импульс, который запускает временной счетчик в дальномере. Когда отраженный объектом импульс возвращается к дальномеру, то он останавливает работу счетчика. По временному интервалу (задержке отраженного импульса), с помощью встроенного микропроцессора, определяется расстояние до объекта:

$$L=ct/2$$

где:  $L$  — расстояние до объекта,  $c$  — скорость распространения излучения,  $t$  — время прохождения импульса до цели и обратно.

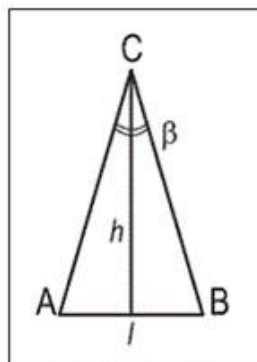


Рисунок 5.9 - Принцип действия дальномера геометрического типа  
AB - база,  $h$  -измеряемое расстояние

При фазовом методе — излучение модулируется по синусоидальному закону с помощью модулятора (электрооптического кристалла, меняющего свои параметры под воздействием электрического сигнала). Отраженное излучение попадает в фотоприемник, где выделяется модулирующий сигнал. В зависимости от дальности до объекта изменяется фаза отраженного сигнала относительно фазы сигнала в модуляторе. Измеряя разность фаз, измеряется расстояние до объекта.

### **5.3 Внедрение системы вибродиагностической диагностики подшипниковых узлов и механического оборудования**

#### **5.3.2 Особенности вибродиагностики подшипниковых узлов скольжения и качения металлургических машин и оборудования**

Для решения поставленной задачи неисправностей подшипников качения используются методы вибрационной диагностики, занимающие ведущее место среди работ по технической диагностике подшипниковых узлов. Информацией для описания технического состояния подшипников в этом случае являются различные характеристики вибрационного процесса, сопровождающего работу двигателя в информативных точках замера вибрации. Спектральные характеристики и общие уровни этих возбуждений в полосах частот являются основной информацией при диагностировании подшипников качения вибрационными методами.

Методы и способы вибрационного диагностирования подшипников качения базируются как на детерминистских, так и вероятностных подходах. Основной задачей при создании таких методов является построение физической модели подшипника, т.е. определение динамических, кинематических или других параметров работы, прямо или косвенно определяющих его состояние, а затем преобразование ее в диагностическую модель, т.е. в описание этих параметров с помощью вибрационных признаков.

Спецификой отказов двигателей по причине разрушения подшипников качения является то, что такие отказы всегда влекут за собой замену двигателя, которая является наиболее дорогостоящей операцией, а также то, что разрушение подшипников происходит внезапно, без каких-либо признаков, указывающих на близкий вероятный отказ. Это обуславливает актуальность проблемы диагностирования технического состояния подшипниковых узлов двигателя на ранних стадиях развития неисправностей.

Для решения поставленной задачи раннего обнаружения неисправностей подшипников качения в данном проекте используются методы вибрационной диагностики, занимающие ведущее место среди работ по технической диагностике подшипниковых узлов. Информацией для описания технического состояния подшипников в этом случае являются различные характеристики вибрационного процесса, сопровождающего работу двигателя в информативных точках замера вибрации.

Подшипники качения в роторных машинах являются источниками так называемых "подшипниковых" вибраций с широким спектром частот от нескольких Гц до десятков кГц. Ряд причин приводит к подшипниковым вибрациям:

- наличие в подшипниках нескольких элементов, совершающих сложное движение с различными угловыми скоростями;

- несовершенства подшипников качения, образовавшиеся на стадии их изготовления

- волнистость, овальность, гранность дорожек и тел качения, наличие

радиального зазора, дисперсия диаметров тел качения и т.д.;

- несовершенства, возникающие при сборке роторной машины;

- перекосы колец, несоблюдение допусков на посадки колец на вал и в корпус и т.д.;

- несовершенства, возникающие при эксплуатации машины-износы, загрязнение смазки, увеличение радиального зазора и другие.

### **5.3.3 Методы диагностики дефектов подшипников**

Для оценки технического состояния и диагностики дефектов подшипников качения разными фирмами разработано достаточно много различных методов.

В самом общем случае оценка технического состояния и поиск дефектов подшипников качения может производиться:

1) По СКЗ виброскорости. Данный метод позволяет выявлять дефекты подшипников на самых последних стадиях их развития, начиная, примерно, с середины третьего этапа развития дефекта, когда общий уровень вибрации значительно вырастет. Требуется минимальных технических затрат и не требует специального обучения персонала.

2) По спектру вибросигнала. Данный метод применяется на практике достаточно часто, т. к. позволяет выявлять, наряду с диагностикой подшипников, большое количество других дефектов оборудования. Этот метод позволяет начинать диагностику дефектов подшипников примерно с середины второго этапа развития дефектов, когда энергия резонансных колебаний вырастет настолько, что будет заметна в общей картине частотного распределения всей мощности вибросигнала. Для реализации данного метода необходим хороший спектроанализатор и подготовленный персонал.

3) По соотношению пик / фон вибросигнала. Этот метод разрабатывался несколькими фирмами и имеет много различных, примерно одинаковых по эффективности, практических модификаций, таких как:

- HFD (High Frequency Detection - метод обнаружения высокочастотного сигнала);

- SPM (Shock Pulse Measurement - метод измерения ударных импульсов);

- SE (Spike Energy - метод измерения энергии импульса).

Лучшие разновидности данного метода позволяют выявлять дефекты подшипников качения на достаточно ранних стадиях, начиная примерно с конца

первого этапа развития. Приборы, реализующие данный метод диагностики достаточно просты и дешевы.

4) По спектру огибающей сигнала. Данный метод позволяет выявлять дефекты подшипников на самых ранних стадиях, начиная примерно с первой трети первого этапа.

Теоретически данный метод диагностики дефектов подшипников качения может базироваться и на анализе акустических сигналов, и на анализе вибросигналов:

- SEE (Spectral Energy Emitted - анализ излучаемой спектральной энергии) - использует специальный датчик акустической эмиссии. Далее отфильтрованный сигнал подается на анализатор спектра.

- Диагностика по спектру огибающей вибросигнала. Этот метод, большой вклад в развитие которого внесли российские диагносты, в настоящее время считается уже классическим методом для анализа вибросигналов с подшипников качения.

Все выше перечисленные методы различаются не только теоретическими предпосылками, положенными в их основу. Они различаются типом используемого оборудования, его стоимостью, необходимой подготовкой персонала и конечно своей эффективностью. Чем на более ранней стадии и более достоверно необходимо обнаруживать дефекты подшипников, тем обычно дороже это стоит.

Самым эффективным методом обнаружения дефектов на ранних стадиях являются методы диагностики по спектрам огибающих. Поэтому наиболее предпочтительным является использование в практике этого метода диагностики дефектов подшипника, т. к. он менее остальных подвержен различным помехам и в результате имеет большую достоверность.

5) Диагностика по общему уровню вибрации. Данный способ диагностики наличия дефектов в подшипниках, в своей основе, входит в широко распространенную простейшую оценку общего технического состояния оборудования по общему уровню вибросигнала. Производится диагностическим или даже оперативным обслуживающим персоналом без специальной вибродиагностической подготовки. Для проведения такой диагностики дефектов подшипников качения вполне достаточно использования простейшего виброметра.

Достоинством такого, самого простейшего метода диагностики дефектов подшипников качения по общему уровню вибрации, является так же то, что для его применения не требуется практически никакого дополнительного обучения обслуживающего персонала и стоимость технического оборудования, необходимого для его внедрения, минимальна.

Неожиданно высокую эффективность может иметь диагностика дефектов подшипников качения наиболее простым способом - на "слух". Для этого необходимо: наличие какого - либо устройства для прослушивания подшипников типа стетоскопа, или виброметра с подключаемыми наушниками, а если ничего этого нет, то можно воспользоваться любой сухой деревянной палочкой достаточных размеров.

### 5.3.3.1 Диагностика по спектрам вибросигналов

Требования к применяемым спектроанализаторам. Прибор должен обязательно иметь высокое разрешение, не менее, чем 3200 линий в спектре. В противном случае при распределении мощности узкого ударного пика дефекта по достаточно широкой спектральной полосе приведет к резкому занижению уровня характерной гармоник и к невозможности ее использования в диагностике. Прибор обязательно должен иметь возможность регистрировать временные сигналы.

Особенности проявления дефектов подшипников на спектрах вибросигналов. Их несколько:

- Наличие на временном вибросигнале явно выраженных периодических ударных процессов.
- Наличие в спектре вибросигнала большого количества несинхронных компонент, или, беря за базу оборотную частоту ротора, гармоник с дробными номерами. Частоты этих гармоник определяются подшипниковыми соотношениями.
- Наличие в спектре широкополосных энергетических горбов вблизи подшипниковых частот и частот собственных резонансов элементов механической конструкции.

Рассмотрим сначала форму проявления ударных воздействий от дефектов подшипников во временном вибросигнале. Для этого рассмотрим простейший пример временного вибросигнала, зарегистрированного на дефектном подшипнике качения.

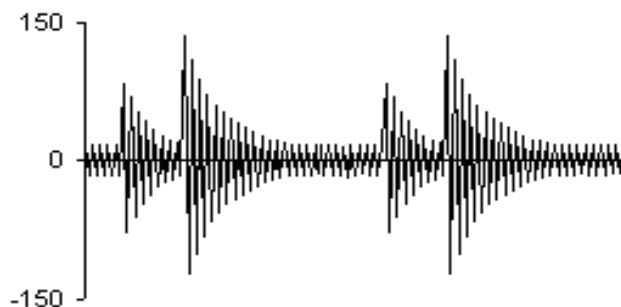


Рисунок 5.10 - Временный вибросигнал типа «Золотая рыбка» при развитых дефектах подшипника.

Вероятность появления на таком временном вибросигнале ударных периодических импульсов, имеющих весьма характерный вид, сопровождающих возникновение дефектов, близка к 100 %. Для описания этих внешних особенностей даже придуман специальный термин - “золотая рыбка”.

Наличие такой формы во временном вибросигнале является надежным диагностическим признаком для выявления дефектов подшипников.

Частота следования “золотых рыбок” во временном сигнале должна достаточно точно соответствовать частоте, характеризующей дефект того или иного элемента подшипника. Интенсивность “золотых рыбок”, степень их выраженности, превышения над фоном вибрации, зависит от степени развития дефекта. Пример

немного “идеального” вибросигнала с двумя “золотыми рыбками” приведен на рисунке 5.10.

В практических вибросигналах “золотая рыбка” чаще всего является более “лохматой”. У нее имеются различные “плавники” сверху и снизу. Они могут следовать одна за другой, часто даже наслаиваясь друг на друга. Все

это зависит от частоты следования ударов от дефектов и от собственных резонансных свойств механической конструкции или ее отдельных элементов.

Непосредственно при диагностике дефектов подшипников качения при помощи спектров вибросигналов можно выявить три типа возможных, наиболее часто встречающихся типа спектров вибросигналов, соответствующих различным этапам развития дефектов.

#### Стадия 1

Первые признаки дефектов на спектре вибросигналов возникают тогда, когда дефект подшипника, возникнув, разовьется до такой стадии, что выделяемая им энергия станет сравнительно заметной в общей энергии вибрации подшипника. Применительно к вышеописанным этапам развития это примерно конец первого этапа - начало второго. По срокам это примерно несколько месяцев с момента начала развития дефекта. Пример спектра первой стадии приведен на рисунке 5.11.

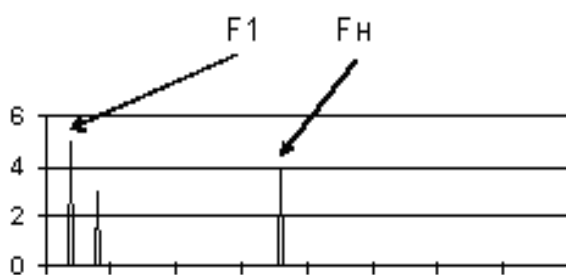


Рисунок 5.11 - Спектр вибрации на начальной стадии дефекта подшипника качения.

В этом спектре, наряду с первыми, механическими, гармониками оборотной частоты вращения ротора, появляется пик на характерной частоте дефекта того или иного элемента подшипника. На этой стадии характерная гармоника уже хорошо видна на спектре и позволяет достаточно точно выявлять дефектный элемент.

По амплитуде пик характерной гармоники уже соизмерим с амплитудой первой или второй гармоник оборотной частоты ротора, но по своей мощности еще много уступает им. На спектре это выражается тем, что пик подшипниковой гармоники является очень узким. Дефект появился, но еще не является сильно развитым.

Эта стадия завершается тогда, когда амплитуда характерной гармоники уже не растет, а рядом с ней, очень близко, появляется первая пара боковых гармоник слева и справа. Значит начался этап расширения зоны дефекта в подшипнике.

#### Стадия 2

На этой стадии значительно увеличивается вклад в общую вибрацию составляющей от дефекта подшипника. Подшипниковая гармоника увеличивает свою мощность до такого значения, что становится соизмерима

с основными механическими гармониками - первой и второй. Результатом наличия в вибросигнале двух, как минимум, гармоник - синхронной и несинхронной примерно одинаковой мощности возбуждает в агрегате частоты биений. Эти частоты биений проявляются на спектре в виде боковых полос вблизи характерной подшипниковой гармоники. По мере роста мощности подшипниковой гармоники с расширением зоны дефекта число боковых полос и их мощность постепенно возрастает.

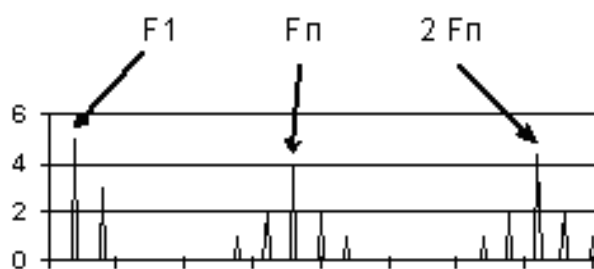


Рисунок 5.12 - Спектр вибрации на второй стадии диагностики дефекта подшипников качения.

Дальнейшее развитие дефекта приводит к появлению гармоник от характерной подшипниковой частоты. Обычно появляются гармоники с номером два и три от основной частоты подшипникового дефекта. Рядом с каждой такой гармоникой слева и справа тоже будут иметь место боковые частоты, число пар которых может быть достаточно большим. Чем более развит дефект, тем больше боковых гармоник и у гармоник частоты дефекта.

Пример спектра вибросигнала подшипника с таким развитием дефекта показан на рисунке 5.12. На этом спектре есть две гармоники от характерной частоты подшипникового дефекта, первая и вторая. Вокруг каждой гармоники расположено по две пары боковых гармоник, расположенных слева и справа.

Износ подшипника с таким спектром уже очевиден и может простирается почти по всей рабочей поверхности подшипника, он уже стал групповым, захватив несколько элементов подшипника. Подшипник нуждается в замене или к такой процедуре нужно интенсивно готовиться.

### Стадия 3

Это последняя стадия развития дефектов подшипника. В конце этой стадии подшипник уже полностью деградировал и перестал исполнять свои прямые функции - обеспечивать вращение валов при минимальным затратах на трение. Затраты на трение велики и вращение ротора затруднено.

Развитие дефекта подшипника на этой стадии, при контроле по спектрам вибросигналов, проходит следующим образом. Износ подшипника достигает такой стадии, когда характерная частота дефекта из-за износа становится нестабильной, такая же участь постигает боковые гармоники.



Наложение многих семейств гармоник, каждое из которых состоит из основной частоты и боковых гармоник, создает достаточно сложную картину. Если в этих семействах основные гармоники различаются по частоте немного, то сумма всех частот представляет из себя общее поднятие спектра, “энергетический горб”, захватывающий такой диапазон частот, куда входят все гармоники всех семейств от всех уже существующих дефектов подшипника качения.

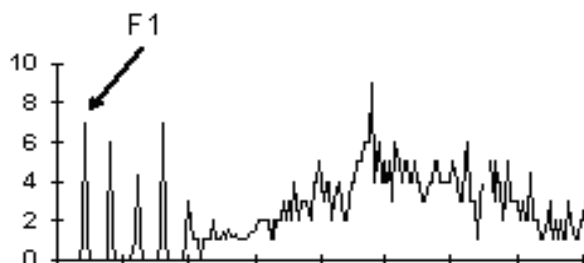


Рисунок 5.13 – Спектр вибрации на третьей стадии диагностики дефекта подшипников качения.

На общем фоне “энергетического горба” могут возвышаться отдельные гармоники, но обычно все они носят случайный характер и уже практически ничего не отражают. Они просто увеличивают мощность, сосредоточенную в этом частотном диапазоне “энергетического горба”.

Практически вся мощность вибросигнала сосредоточена не в зоне механических гармоник (1 - 8), а в зоне характерных гармоник, соответствующих имеющим место дефектам подшипника качения. Правда на этом этапе таких дефектов уже много, и это понятно, подшипника уже практически нет. Для иллюстрации этой стадии на рисунке 5.13 приведен спектр вибросигнала. На рисунке достаточно хорошо видны все вышеперечисленные особенности диагностирования третьей стадии развития дефекта.

Кроме того в диапазоне гармоник, свойственных механическому ослаблению и увеличенному зазору в подшипнике поднимается лес целых гармоник обратной частоты. Все они по своим параметрам соответствуют вышеназванным механическим причинам. Причины возникновения таких гармоник понятна - в подшипнике велики все зазоры.

Подшипник нуждается в скорейшей замене, т. к. возможность аварийной ситуации очень велика.

### 5.3.3.3 Диагностика подшипников по спектрам огибающей

Метод диагностики состояния оборудования при помощи спектров огибающей вибросигнала получил максимальное прикладное развитие благодаря его применению именно для ранней диагностики подшипников качения. Основы метода диагностики дефектов подшипника качения по спектру огибающей и особенности его практического применения достаточно подробно описаны выше.

Проблемы изготовления и монтажа подшипников можно отнести к нулевому этапу развития дефектов подшипников. Проблемы смазки и начальные этапы износа соответствуют первому этапу, когда дефекты зарождаются.

Сильный износ и зона углубления физических дефектов подшипников относятся ко второму этапу развития дефектов в подшипниках. Как уже говорилось выше третий этап развития дефектов в подшипниках, их деградация, диагностируется уже любым методом.

На рисунке 5.14 приведен спектр огибающей вибросигнала с подшипника качения, имеющего значительную раковину на наружном кольце. На этом спектре имеется достаточно много гармоник, более десяти, с частотой, кратной частоте наружного кольца подшипника.

Других, значительных, гармоник на данном спектре нет, поэтому диагностика дефекта не вызывает значительных трудностей, все достаточно просто.

На следующем спектре огибающей, следует диагностировать дефект типа раковина на внутреннем кольце.

Здесь также имеются гармоники характерной частоты - частоты внутреннего кольца, но здесь есть существенное отличие. Характерные гармоники имеют боковые полосы, сдвинутые на частоту вращения ротора. Появление боковых полос объяснялось выше с физической точки зрения.

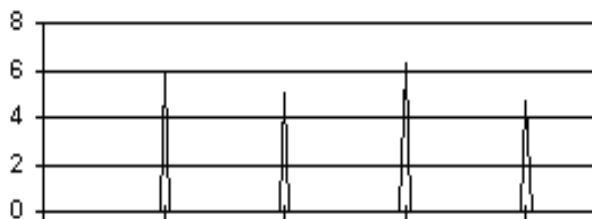


Рисунок 5.14 - Спектр огибающей подшипника качения с раковинной дефектом на наружном кольце

Можно привести еще одно объяснение, с другой точки зрения. Дефект на внутреннем кольце не постоянно находится в нагруженной зоне

подшипника. В течении одного оборота ротора он то находится в нагруженной зоне, то выходит из нее. Таким образом дефект внутреннего кольца модулируется частотой вращения ротора. При внимательном рассмотрении спектра на рисунке 5.15 возникает впечатление, что дефект модулируется синусоидой, по которой и располагаются амплитуды основных и боковых гармоник. Данный дефект диагностируется тоже достаточно просто.

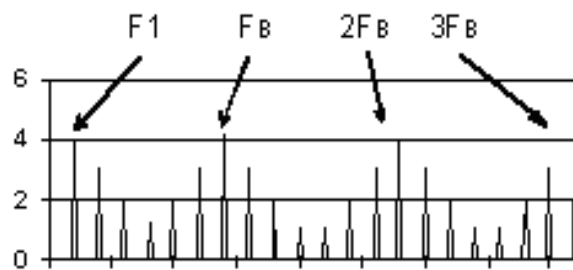


Рисунок 5.15 - Спектр огибающей подшипника качения с раковинной дефектом на внутреннем кольце

### 5.3.5.3 Неправильная установка подшипника

Под этим термином понимается неправильная установка баббитовых вкладышей, их перекос или излишняя подвижность внутри подшипниковой стойки.

В спектре вибрации этот дефект проявляется усилением первой и второй гармоник оборотной частоты ротора. Значительно возрастает осевая составляющая общей вибрации, часто до недопустимых значений. При перекосе вкладыша в подшипнике обычно вибрация на поверхности подшипника различна вдоль его осевого направления.

Если вкладыши являются самоустанавливающимися, то они перемещаются в точку нового равновесного состояния и вибрации могут уменьшиться. Если такой возможности нет, вибрация останется большой. Максимальное значение она обычно имеет в осевом направлении. Это происходит не потому, что наибольшие силы действуют вдоль оси агрегата, просто конструктивная податливость подшипниковой стойки в данном направлении наибольшая.

Частотный состав вибраций при таком дефекте прост и обычно ограничивается первой гармоникой. При сегментных вкладышах возможно появление гармоники с частотой, равной произведению оборотной частоты на число сегментов.

### 5.3.5.4 Эллипсность шейки вала

В процессе работы шейка вала, являющаяся частью подшипника скольжения, может неравномерно изнашиваться и ее поперечное сечение круга может стать эллиптической. При определенных условиях износа сечение шейки вала может иметь в себе некоторую трехгранность, четырехгранность и т. д.

При эллипсности происходит некоторое увеличение частоты вибрации масляного клина, т. к. масло в большей мере увлекается в своем движении ротором. Она может достигать до 0,45 - 0,46 от оборотной частоты ротора.

### 5.3.5.5 Замеры вибрации

Важно производить замеры вибрации в одних и тех же местах, называемых контрольными (штатными) точками измерения вибрации.

Обычно, измерения параметров вибрации в контрольных точках производятся на подшипниковых опорах агрегата, корпусе агрегата и на анкерных фундаментных болтах.

Абсолютную вибрацию (при диагностировании большинства механических дефектов) рекомендуется измерять в трех взаимно перпендикулярных направлениях: вертикальном, горизонтально-поперечном и осевом. Преобразователи для измерения горизонтально-поперечной составляющей вибрации крепят на уровне оси вала против середины длины опорного вкладыша. Осевую составляющую вибрации следует измерять в точке, максимально приближенной к оси вала на корпусе опоры подшипника вблизи горизонтального разъема между крышкой и корпусом. Вертикальную составляющую вибрации измеряют на верхней части крышки подшипника над серединой его вкладыша.

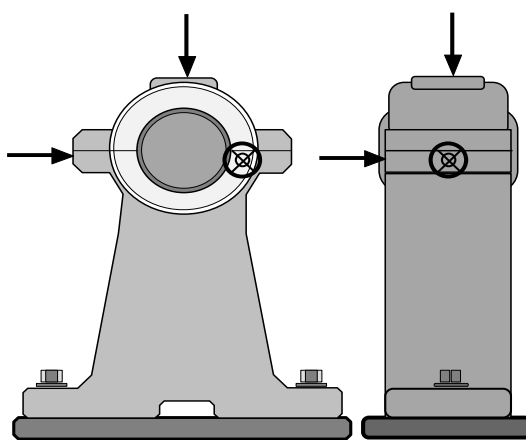


Рисунок 5.16 - Типичные контрольные точки измерений вибрации на корпусе подшипника.

Допускается измерение вертикальной, горизонтальной и осевой составляющих вибрации путем установки на верхнюю часть крышки подшипника трехкомпонентного вибродатчика для измерений вибрации во взаимно перпендикулярных направлениях совпадающих с главными осями агрегата.

Существуют определенные места установления датчиков. Датчик следует закреплять так, чтобы его измерительная ось совпадала с нужным при измерении направлением. Как правило измерительная ось перпендикулярна плоскости крепления датчика (его рабочей поверхности). Цель измерения и анализа вибрации обычно диктует расположение мест крепления пьезодатчика на исследуемом объекте, (рисунок 5.17).

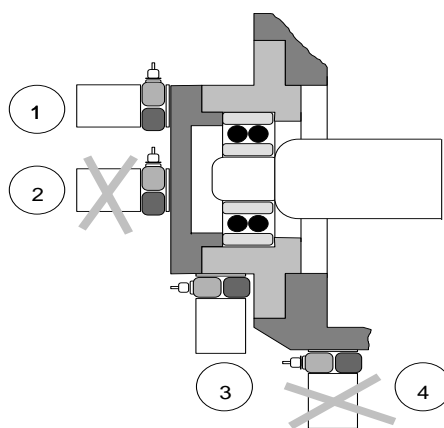


Рисунок 5.17 - Рекомендуемые места крепления датчика.

В большинстве случаев целью измерений вибрации является контроль условий работы вала и подшипника. Датчик следует устанавливать так, чтобы на его рабочую поверхность непосредственно действовали механические колебания подшипника. Датчик 3 воспринимает механические колебания подшипника при меньшем влиянии вибрации, возбуждаемой другими узлами и деталями агрегата, по сравнению с датчиком 4, который воспринимает преобразованные при прохождении через разъемное соединение колебания подшипника и механические колебания, генерируемые другими узлами агрегата. Аналогично, датчик 1 расположен более целесообразно с точки зрения распространения механических колебаний, чем датчик 2. Измерение вибрации на тонкостенных участках корпусов и крышек недопустимо.

Способы крепления датчика на поверхности. Качественное и надежное крепление вибродатчика на поверхности исследуемого объекта является одним из самых важных условий достижения точных и надежных результатов при измерениях вибрации и распознавании состояния оборудования. Ненадежное крепление датчика приводит к уменьшению области линейности амплитудной характеристики датчика, и, следовательно, значительному уменьшению диапазона измерений акселерометра.

Наилучшим считается крепление датчика на гладкой плоской поверхности ввода прочной стальной шпилькой. На рабочую поверхность датчика рекомендуется наносить слой консистентной (силиконовой) смазки, что увеличивает общую жесткость механического соединения датчика и объекта измерений и создает хороший акустический контакт.

Глубина резьбового отверстия должна быть достаточной, чтобы шпилька не упиралась в дно отверстия в основании датчика. В соответствии с рекомендациями ISO 1101-1969 поверхность для крепления датчика должна удовлетворять следующим условиям :

- 1) шероховатость поверхности - не более 1,6 мкм ;
- 2) перпендикулярность оси резьбового соединения к плоскости крепления преобразователя - не более 0,02 % ;
- 3) неплоскостность поверхности крепления - 0,01 % .

Наиболее простым и быстрым является измерение вибрации с помощью щупа, соединенного с вибродатчиком. Однако рабочий частотный диапазон при этом в большинстве случаев составляет примерно 10...1000 Гц.

Угол между измерительной осью вибродатчика и направлением измерения на должен превышать 25 градусов. Следует также учитывать, что при применении различных типов щупов рабочий частотный диапазон может существенно изменяться.

Для агрегатов с изменяемой частотой вращения ротора необходимо обеспечить измерение фактической частоты вращения и получение соответственно установленных параметров анализа и частотных полос. Эта процедура называется "частотной нормализацией". При использовании такой процедуры, ширина частотных полос определяется как функция частоты вращения ротора. При плановых остановках рекомендуется записывать частотные характеристики на выбеге и/или пуске агрегата. Текущие данные измерения вибрации необходимо сравнивать с записанными ранее. При сравнении однотипных данных, полученных в разное время, легко зафиксировать любое изменение резонансных частот и амплитуд, которое может указывать на происходящие изменения в системе ротор-опора-фундамент.

### **5.3.6 Виды диагностического измерения и исследования вибрации оборудования**

Можно условно разделить на следующие виды: контрольные измерения работающего агрегата, специальные диагностические измерения работающего агрегата, а также обследование остановленного агрегата.

Контрольные измерения предназначены для распознавания и прогнозирования технического состояния агрегата с учетом влияния на состояния технологических режимов эксплуатации оборудования. Контрольные измерения в свою очередь можно разделить на текущее контрольное измерение вибрации и полное контрольное измерение вибрации.

Специальные диагностические измерения и обследование остановленного агрегата предназначены для выявления дефектов и причин их возникновения, оценки и прогнозирования степени развития дефектов и разработки рекомендаций по их устранению.

Задачей текущего контрольного измерения вибрации является:

- 1) определение текущего общего уровня вибрации в контрольных точках;
- 2) сравнения текущего общего уровня вибрации с нормами (уровнями тревог);
- 3) если обнаружено превышение общим уровнем вибрации установленных норм (уровней тревог) или появление тенденции возрастания уровня вибрации (например, более чем 1 мм/с за неделю), необходимо безотлагательное проведение полных контрольных измерений;

Целесообразно проводить контрольные измерения с момента пуска агрегата после ремонта и до остановки агрегата с периодичностью раз в сутки или раз в смену, что должно определяться Регламентом предприятия. Результаты

измерений должны регистрироваться в вахтовом журнале или ответственным специалистом, осуществляющим мониторинг.

Для оборудования 4 и 5 категорий число измерительных точек агрегата для текущих контрольных измерений иногда минимизируют, оставив только точку с максимальной вибрацией на каждом подшипниковом узле. Достаточно часто, если проведение полных контрольных измерений не показывает изменения вибросостояния такого оборудования, для текущих контрольных измерений оставляют по одной точке на каждый узел агрегата.

Текущее контрольное измерение позволяет с минимальными трудозатратами обеспечить мониторинг состояния оборудования в период между более дорогими полными контрольными измерениями вибрации и, в большинстве случаев, вовремя обратить внимание на изменение состояния оборудования, если оно происходит.

Задачей полного контрольного измерения вибрации является:

- 1) определение текущего уровня контролируемого параметра вибрации в контрольных точках;
- 2) распознавание состояния оборудования, включающее сравнение текущего уровня контролируемого параметра вибрации с нормами (уровнями тревог);
- 3) предварительная оценка степени опасности повышенной вибрации (связанных с этим обстоятельств) и локализация мест с максимальной вибрацией, если обнаружено превышение уровнем вибрации норм (уровней тревог);
- 4) принятие немедленного решения о допустимости эксплуатации оборудования: если проблема очень серьезна (в зависимости от особенностей регламента виброизмерений предприятия), возможно проведение частотного анализа и установление общего характера вибрации на месте измерения; при необходимости измеряется вибрация в дополнительных точках;
- 5) регистрация, запоминание и анализ (при необходимости) результатов измерений;
- 6) составление заключения о текущем состоянии агрегата и возможности его дальнейшей эксплуатации (например, неограниченная по времени эксплуатация, ограниченная по времени эксплуатация, эксплуатация недопустима и др.) и, по возможности, определение объема работ по устранению повышенной вибрации (в том случае, если установлено превышение уровнем вибрации норм, и при этом становятся ясны причины повышенной вибрации).

Если изменению вибрации предшествовал ремонт агрегата, должны быть рассмотрены монтажные и ремонтные формуляры, отчетные документы и технические акты, имеющие отношение к вибрации. При необходимости рассматриваются также чертежи агрегата. При ознакомлении с документацией необходимо определить соответствие зазоров и натягов в

подшипниках, а также параметров центровки рекомендуемым значениям, выяснить изменение амплитуд вибрации во времени и в зависимости от режима работы агрегата.

При осмотре агрегата обращают внимание:

- 1) вызывает ли что-либо опасения (необычные шумы или звуки, вибрация трубопроводов, стола фундамента и др.);

- 2) имеются ли разливы или потеки технических жидкостей (смазок, охлаждающих) вокруг агрегата или подшипников, замасливание фундамента;
- 3) имеются ли нарушения или трещины конструкции;
- 4) имеются ли утечки (продуктов);
- 5) проверяют соответствие показаний термометров, манометров, вольт- и амперметров и других датчиков рекомендуемым нормам.

Полное контрольное измерение вибрации производится без вмешательства в режим эксплуатации агрегата и, в основном, ограничивается измерением трех составляющих вибрации в контрольных измерительных точках (как правило на опорах). Иногда в контрольные измерительные точки включают точки основания (рамы, фундаментных болтов), статора и других частей агрегата, в которых вибрация измеряется только в случае достижения значением параметра вибрации какой-либо из контрольных точек установленного допустимого значения.

Если повышенная вибрация возникает при определенном режиме, то для периодического обследования выбираются два режима: с нормальной и повышенной вибрацией.

В тех случаях, когда вибрация локализуется на одном подшипнике или части фундамента, или консольной части ротора, необходимо произвести измерения в дополнительных точках (например, снятие контурной характеристики вибрации).

Полное контрольное измерение позволяет распознать состояние агрегата, выяснить наиболее вероятные причины вибрации и при необходимости построить последующие работы таким образом, чтобы выделить из группы вероятных действительную причину.

Также существуют специальные диагностические обследования.

Если по результатам полного контрольного измерения вибрации агрегата не удастся однозначно установить причины повышенной вибрации, то составляется программа и производится специальное диагностическое обследование работающего агрегата. Обычно она включает в себя:

- 1) измерение вибрации всех узлов и частей агрегата, включая всю трубопроводную обвязку, элементы крепления, раму и фундамент, корпуса узлов агрегата;
  - 2) выявления зависимости вибрации от изменения режима работы агрегата; ряд режимов агрегата, необходимых для исследования, может выходить за пределы, определенные правилами нормальной эксплуатации; во всех случаях эксперименты по исследованию вибрации связаны с вмешательством в режим работы производства, поэтому программа исследований должна быть согласована с эксплуатационным персоналом и утверждена техническим руководителем предприятия;
  - 3) расширенный анализ вибрации с применением всех возможностей аппаратуры (максимизация частотного диапазона и разрешающей способности, анализ кепстров, спектров огибающих, частотных и фазовых характеристик и др.);
- Исследования включает опытное определение влияния на вибрацию различных факторов: теплового состояния, крутящего момента, условий охлаждения и т.д. При этом могут проводиться следующие работы:
- 4) снятие частотных характеристик при пуске и останове агрегата;



5) снятие режимных характеристик;  
6) снятие контурных характеристик;  
7) определение собственных частот агрегата и трубопроводов;  
8) снятие вибрационных характеристик продуктопроводов, аппаратов, маслопроводов и др.

9) балансировка роторов в собственных подшипниках и др.

Типовые исследование следует минимизировать и проводить в такой последовательности, чтобы по возможности обеспечить проведение всего комплекса намеченных экспериментов за один цикл нагружения и разгружения агрегата.

Обследование остановленного агрегата. При минимальной разборке это обследование обычно ограничивается ревизией подшипников, проверкой центровки узлов агрегата и состояния муфт, осмотром мест возможных задеваний и доступной части роторов.

### **5.3.7 Этапы проведения виброизмерений**

Различают несколько этапов проведения виброизмерений: после ремонта и монтажа, после завершения процесса приработки, на начальном этапе эксплуатации, в процессе эксплуатации, после нарушений технологического режима, после изменения состояния агрегата и перед остановкой агрегата на ремонт.

1) Виброизмерения после ремонта и монтажа. В процессе послеремонтных испытаний агрегата или сразу же после выхода агрегата на рабочий технологический режим проводят полные контрольные измерения с целью оценки качества проведения ремонта и распознавания состояния агрегата по параметрам вибрации. В этот период рекомендуется у оборудования 1 и 2 категорий регистрировать собственные частоты. В случае некачественно проведенного ремонта, при оценке состояния агрегата "требуется принятия мер" агрегат следует остановить для проведения повторного ремонта. В базе данных ЭВМ необходимо описать проведенный ремонт.

2) Виброизмерения после завершения процесса приработки. Полные контрольные измерения проводятся спустя 3...5 суток после выхода агрегата на технологический режим. Если текущие уровни вибрации в контрольных точках ниже уровней "нормального" состояния, то агрегат принимается в эксплуатацию.

3) Виброизмерения на начальном этапе эксплуатации и выходе агрегата на номинальный технологический режим.

В этот период следует провести несколько (3...5) полных контрольных измерений с периодичностью 1...2 недели. Если текущий уровень вибрации остается ниже уровня "нормального" состояния, агрегат оставляют в эксплуатации.

4) Виброизмерения в процессе эксплуатации. Периодичность измерений в процессе эксплуатации обычно устанавливают исходя из состояния агрегата и характера трендов вибрации.

5) Виброизмерения после нарушений технологического режима. Если агрегат останавливали, даже без разборки, или происходили нештатные изменения

технологического режима которые могли повлиять на техническое состояние агрегата, то следует провести полные контрольные измерения вибрации.

б) Виброизмерения перед плановой остановкой на ремонт. Требуемый при проведении работ по периодическому вибромониторингу современный комплекс средств измерений и диагностики (измерительная система) состоит из следующих частей: аппаратные средства измерений (приборы для измерения и анализа вибрации), вспомогательные устройства и каналы связи, программное обеспечение для обработки измеренной информации и ЭВМ. Вибрация измеряется, контролируется и анализируется в большинстве случаев с применением двух типов аппаратуры: стационарной и переносной (мобильной). Применяемые передвижные вибролаборатории условно включены в мобильные средства. [8].

### **5.3.8 Вибродиагностическое оборудование**

#### **5.3.8.1 Простейшие средства измерения и анализа вибрации**

Простейшими по глубине анализа техническими средствами являются приборы и системы допускового контроля и аварийной защиты. Их обязательной функцией является измерение величины виброскорости или вибросмещения в стандартной полосе частот, например от 2 до 1000 или от 10 до 1000 Гц (таблица 5.1) Для этого в составе прибора используется широкополосный фильтр со стандартной амплитудно – частотной характеристикой. Широкая полоса частот фильтра позволяет обеспечить быструю реакцию выходного сигнала на скачек вибрации контролируемого оборудования, удовлетворив тем самым требования к системам аварийной защиты по скорости их срабатывания. Кроме требований к форме АЧХ (автоматическая частотная характеристика) и скорости срабатывания, к устройствам виброзащиты предъявляются высокие требования по помехоустойчивости и надежности с целью снижения вероятности ложного срабатывания устройства до значений, устанавливаемых технической документацией.

Таблица 5.1 – Техническое состояние по ГОСТ ИСО 10816 – 1

| Предельные значения виброскорости для агрегатов разной мощности |                                      |   |  |                        |
|---|--------------------------------------|---|--|------------------------|
| Уровень вибрации корпуса в полосе 10 – 1000 Гц, мм/с            | Небольшие машины мощностью до 15 кВт | Средние машины мощностью от 15 до 75кВт | Большие машины с вращающимися массами, смонтированные на жестких и тяжелых фундаментах | Турбоустановки         |
| 28  | состояние недопустимое               | состояние недопустимое                  | состояние недопустимое   | состояние недопустимое |
| 18  | состояние недопустимое               | состояние недопустимое                  | состояние недопустимое   | состояние недопустимое |
| 11  | состояние недопустимое               | состояние недопустимое                  | состояние недопустимое   | состояние удовлетв.    |
| 7   | состояние недопустимое               | состояние недопустимое                  | состояние удовлетв.  | состояние удовлетв.    |
| 4,50  | состояние недопустимое               | состояние удовлетв.                     | состояние удовлетв.  | состояние допустимое   |
| 2,80  | состояние удовлетв.                  | состояние удовлетв.                     | состояние допустимое   | состояние допустимое   |
| 1,80  | состояние удовлетв.                  | состояние допустимое                    | состояние допустимое   | состояние хорошее      |
| 1,12  | состояние допустимое                 | состояние допустимое                    | состояние хорошее  | состояние хорошее      |
| 0,71  | состояние допустимое                 | состояние хорошее                       | состояние хорошее  | состояние хорошее      |
| 0,45  | состояние хорошее                    | состояние хорошее                       | состояние хорошее  | состояние хорошее      |
| 0,28  | состояние хорошее                    | состояние хорошее                       | состояние хорошее  | состояние хорошее      |

На рисунке 5.18 приведен вид простейшего прибора (виброметра) для допускового контроля вибрации марки «PCI – VT»



Рисунок 5.18 – Простейший виброметр PCI – VT 2800

### 5.3.8.2 Стационарные системы мониторинга и диагностики

Во – первых, отсутствие жестких требований к габаритам анализатора и потребляемой мощности дает возможность широкого использования виртуальных анализаторов на базе персональных компьютеров. Компьютерный анализ сигналов дает возможность оперативно проводить практически любой вид анализа, поэтому многие стационарные системы при необходимости анализируют вибрацию и в установившемся, и в переходных режимах работы оборудования, в том числе во время его пуска и выбега.

На рисунке 5.19 представлена стационарная система мониторинга и диагностики

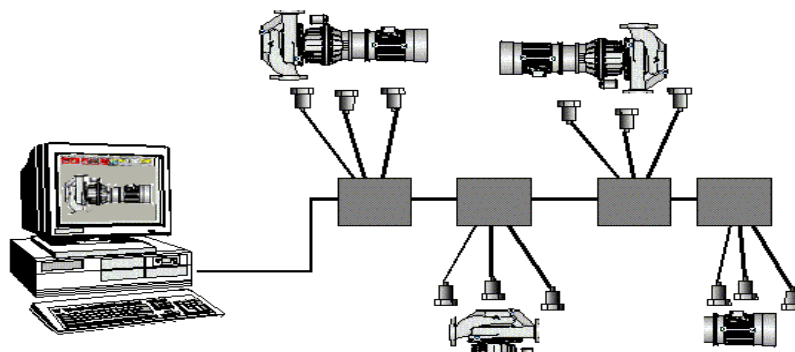


Рисунок 5.19 – Стационарная система мониторинга и диагностики

### 5.3.8.3 Портативные системы мониторинга и диагностики

Наряду со стационарными системами широкое применение находят и портативные переносные системы мониторинга и диагностики, оснащенные экспертными или автоматическими диагностическими программами. Эти системы можно разделить на два основных класса – расширенные системы мониторинга, в том числе и с экспертными программами, рассчитанные на то, что диагностику

выполняет подготовленный эксперт, и системы массового диагностического обслуживания с программами автоматической диагностики и прогноза состояния типового вращающегося оборудования.

Кроме этого, в состав системы часто входят приборы (программы) для сервисных работ, выполняемых с оборудованием по результатам диагностики, например для его балансировки, и (или) центровки. [9].

На рисунке 5.20 показан анализатор и портативная система на его основе.



Рисунок 5.20 – Виброанализатор и портативная система на его основе

В состав такой системы входят портативный прибор (приборы), обеспечивающий измерение и анализ вибрации в тяжелых промышленных условиях, компьютер с программой мониторинга, содержащей базу данных и выполняющий ряд операций анализа сигналов и обработки результатов анализа, а также экспертная или автоматическая программа диагностики, обрабатывающая полученную диагностическую информацию.

## **6 Правила безопасности при проведении грузоподъемных и монтажных работ**

1. Краны могут быть допущены к перемещению грузов, масса которых не превышает паспортную грузоподъемность. При эксплуатации крана не должны нарушаться требования, изложенные в его паспорте и руководстве по эксплуатации [6].
2. Краны, оснащенные грейфером или магнитом, могут быть допущены к работе только при выполнении специально разработанных для этих случаев указаний, изложенных в руководствах по эксплуатации крана и грузозахватного органа.
3. Перемещение грузов над перекрытиями, под которыми размещены производственные, жилые или служебные помещения, где могут находиться люди, не допускается. В отдельных случаях по согласованию с органами госгортехнадзора может производиться перемещение грузов над перекрытиями производственных или служебных помещений, где находятся люди, после разработки мероприятий, обеспечивающих безопасное выполнение работ.
4. Подъем и перемещение груза несколькими кранами допускаются в отдельных случаях. Такая работа должна производиться в соответствии с проектом или технологической картой, в которых должны быть приведены схемы строповки и перемещения груза с указанием последовательности выполнения операций, положения грузовых канатов, а также должны содержаться указания по безопасному перемещению груза.  
При подъеме и перемещении груза несколькими кранами нагрузка, приходящаяся на каждый из них, не должна превышать грузоподъемность крана. Работа по перемещению груза несколькими кранами должна производиться под непосредственным руководством лица, ответственного за безопасное производство работ кранами.
5. Находящиеся в работе краны должны быть снабжены табличками с обозначением регистрационного номера, паспортной грузоподъемности и даты следующего частичного и полного технического освидетельствования.
6. Неисправные грузозахватные приспособления, а также приспособления, не имеющие бирок (клейм), не должны находиться в местах производства работ. Не допускается нахождение в местах производства работ немаркированной и поврежденной тары.
7. При эксплуатации мостовых кранов, управляемых из кабины, должна применяться марочная система, при которой управление краном разрешается лишь крановщику, получившему в установленном владельцем порядке ключ - марку, включающий электрическую цепь управления краном.
8. При эксплуатации кранов, управляемых с пола, должен быть обеспечен свободный проход для рабочего, управляющего краном.
9. Выходы на крановые пути, галереи мостовых кранов, находящихся в работе, должны быть закрыты на замок. Допуск персонала, обслуживающего краны, а также других рабочих на крановые пути и проходные галереи действующих

мостовых и передвижных консольных кранов для производства ремонтных или каких-либо других работ должен производиться по наряду - допуску, определяющему условия безопасного производства работ.

Порядок выдачи наряда - допуска и инструктажа рабочих определяется владельцем крана. О предстоящей работе должны быть уведомлены записью в вахтенном журнале крановщики всех смен пролета, цеха, где производится работа, а при необходимости - и крановщики смежных пролетов.

10. Для каждого цеха (пролета), не оборудованного проходными галереями вдоль кранового пути, где работают мостовые краны, должны быть разработаны мероприятия по безопасному спуску крановщиков из кабины при вынужденной остановке крана не у посадочной площадки. Эти мероприятия должны быть указаны в производственной инструкции для крановщиков.

11. Мостовые краны по решению владельца могут использоваться для производства строительных, малярных и других работ с имеющихся на кране площадок. Такие работы должны выполняться по наряду - допуску, определяющему меры безопасности, предупреждающие падение с крана, поражение электрическим током, выход на крановые пути, столкновение кранов, перемещение крана и его тележки. Использование крана для перемещения грузов при выполнении с его моста указанных работ не допускается.

12. Владелец крана или эксплуатирующей организацией должны быть разработаны способы правильной строповки и зацепки грузов, которым должны быть обучены стропальщики.

Схемы строповки, графическое изображение способов строповки и зацепки грузов должны быть выданы на руки стропальщикам и крановщикам или вывешены в местах производства работ. Владелец крана или эксплуатирующей организацией также должны быть разработаны способы обвязки деталей и узлов машин, перемещаемых кранами во время их монтажа, демонтажа и ремонта, с указанием применяемых при этом приспособлений, а также способов безопасной кантовки грузов, когда такая операция производится с применением крана.

Схемы строповки и кантовки грузов и перечень применяемых грузозахватных приспособлений должны быть приведены в технологических регламентах. Перемещение груза, на который не разработаны схемы строповки, должно производиться в присутствии и под руководством лица, ответственного за безопасное производство работ кранами.

Руководство морских и речных портов обязано обеспечить производство погрузочно - разгрузочных работ с применением кранов по утвержденным им технологическим картам.

13. Организации, эксплуатирующие краны, должны установить порядок обмена сигналами между стропальщиком и крановщиком. Рекомендуемая знаковая сигнализация приведена в Приложении 18. При возведении зданий и сооружений высотой более 36 м должна применяться двусторонняя радиопереговорная связь. Знаковая сигнализация и система обмена сигналами при радиопереговорной связи должны быть внесены в производственные инструкции для крановщиков и стропальщиков.

14. Место производства работ по перемещению грузов кранами должно

быть освещено в соответствии с проектом производства работ.

15. Работа крана должна быть прекращена при скорости ветра, превышающей допустимую для данного крана, при снегопаде, дожде или тумане, при температуре ниже указанной в паспорте и в других случаях, когда крановщик плохо различает сигналы стропальщика или перемещаемый груз.

16. Производство работ стреловыми кранами на расстоянии менее 30 м от подъемной выдвижной части крана в любом ее положении, а также от груза до вертикальной плоскости, образуемой проекцией на землю ближайшего провода воздушной линии электропередачи, находящейся под напряжением более 42 В, должно производиться по наряду - допуску, определяющему безопасные условия работы, форма которого приведена в Приложении 19.

Порядок организации производства работ вблизи линии электропередачи, выдачи наряда - допуска и инструктажа рабочих должен устанавливаться приказами владельца крана и производителя работ. Условия безопасности, указываемые в наряде - допуске, должны соответствовать ГОСТ 12.1.013. Время действия наряда - допуска определяется организацией, выдавшей наряд. Наряд - допуск должен выдаваться крановщику на руки перед началом работы. Крановщику запрещается самовольная установка крана для работы вблизи линии электропередачи, о чем делается запись в путевом листе.

Работа крана вблизи линии электропередачи должна производиться под непосредственным руководством лица, ответственного за безопасное производство работ кранами, которое также должно указать крановщику место установки крана, обеспечить выполнение предусмотренных нарядом - допуском условий работы и произвести запись в вахтенном журнале крановщика о разрешении работы.

При производстве работы в охранной зоне линии электропередачи или в пределах разрывов, установленных Правилами охраны высоковольтных электрических сетей, наряд - допуск может быть выдан только при наличии разрешения организации, эксплуатирующей линию электропередачи.

При работе стреловых кранов на действующих электростанциях, подстанциях и линиях электропередачи, если работы с применением кранов ведутся персоналом, эксплуатирующим электроустановки, а крановщики находятся в штате энергопредприятия, наряд - допуск на работу вблизи находящихся под напряжением проводов и оборудования выдается в порядке, установленном отраслевыми нормами.

Работа стреловых кранов под неотключенными контактными проводами городского транспорта может производиться при соблюдении расстояния между стрелой крана и контактными проводами не менее 1000 мм при установке ограничителя (упора), не позволяющего уменьшить указанное расстояние при подъеме стрелы.

Порядок работы кранов вблизи линии электропередачи, выполненной гибким кабелем, определяется владельцем линии.

17. Для безопасного выполнения работ по перемещению грузов кранами их владелец и производитель работ обязаны обеспечить соблюдение следующих требований:

а) на месте производства работ по перемещению грузов, а также на кране не



должно допускаться нахождение лиц, не имеющих прямого отношения к выполняемой работе;

б) вход на мостовые краны и спуск с них должны производиться через посадочную площадку или, в отдельных случаях, через проходную галерею;

18. При работе крана не допускаются:

а) вход в кабину крана во время его движения;

б) нахождение людей возле работающего стрелового крана во избежание зажатия их между поворотной и неповоротной частями крана;

в) перемещение груза, находящегося в неустойчивом положении или подвешенного за один рог двурогого крюка;

г) перемещение людей или груза с находящимися на нем людьми. Подъем людей кранами мостового типа может производиться в исключительных случаях, предусмотренных руководством по эксплуатации крана, и только в специально спроектированной и изготовленной кабине после разработки мероприятий, обеспечивающих безопасность людей. Такая работа должна производиться по специальной инструкции, согласованной с органами госгортехнадзора;

д) подъем груза, засыпанного землей или примерзшего к земле, заложенного другими грузами, укрепленного болтами или залитого бетоном, а также металла и шлака, застывшего в печи или приварившегося после слива;

е) подтаскивание груза по земле, полу или рельсам крюком крана при наклонном положении грузовых канатов без применения направляющих блоков, обеспечивающих вертикальное положение грузовых канатов;

ж) освобождение краном защемленных грузом стропов, канатов или цепей;

з) оттягивание груза во время его подъема, перемещения и опускания. Для разворота длинномерных и крупногабаритных грузов во время их перемещения должны применяться крючья или оттяжки соответствующей длины;

и) выравнивание перемещаемого груза руками, а также поправка стропов на весу;

к) подача груза в оконные проемы, на балконы и лоджии без специальных приемных площадок или специальных приспособлений;

л) использование концевых выключателей в качестве рабочих органов для автоматической остановки механизмов, за исключением случая, когда мостовой кран подходит к посадочной площадке, устроенной в торце здания;

м) работа при отключенных или неисправных приборах безопасности и тормозах;

н) включение механизмов крана при нахождении людей на кране вне его кабины (на галерее, в машинном помещении, на стреле, башне, противовесе и т.п.). Исключение допускается для лиц, ведущих осмотр и регулировку механизмов, электрооборудования и приборов безопасности. В этом случае механизмы должны включаться по сигналу лица, производящего осмотр;

## **7 Расчет экономических показателей монтажа электрооборудования крана 20т**

Электрическую часть кранов монтируют в два этапа: на заводе - изготовители кранов, на месте установке крана.

Ранее большую часть электромонтажных работ выполнялась различными методами электромонтажными организациями. Состав работ по электромонтажу крана и объем их выполнения предприятием - изготовителем определяются проектом электрической части крана, который содержит электрическую схему крана, таблицу соединений; чертежи узлов электропроводок, размещения электрооборудования, блоков, труб, коробов; инструкцию по монтажу, пуску, регулированию обкатки крана на месте его монтажа.

Производится полный монтаж кабины управления и грузоподъемной тележки крана, монтаж на мосту установочных элементов под электрооборудование, заготовку элементов главного и вспомогательного элементов электроприводов, в том числе гибкого кабеля в разведенном виде или жестких троллеев в виде замаркированных секций, а так же крепежных, несущих и поддерживающих конструкций.

Электромонтажные работы в настоящее время ведутся на высоком уровне инженерной подготовки, с максимальным переносом этих работ со строительных площадок в мастерские монтажно-заготовительных участков и на заводы электромонтажных организаций. Электромонтажные, проектные и научно - исследовательские организации совместно с электротехнической промышленностью ведут большую работу по изготовлению электрооборудования крупными блоками и узлами. В практику электромонтажных и ремонтных работ внедряются современные механизмы, приспособления, инструменты, средства малой механизации, в том числе на основе применения пиротехники. В работе электромонтажных организаций широко используются рационализаторские предложения рабочих, инженеров и техников, направленные на повышение производительности труда и качества монтажных и ремонтных работ, а также на повышение уровня эксплуатации оборудования и электрических сетей. В области эксплуатации электрооборудования накоплен и обобщен большой опыт.

### **7.1 Построение сетевого графика монтажа электрооборудования**

- 1 - 2 - Получение и транспортировка оборудования мостового крана;
- 2 - 3 - Распаковка электрооборудования мостового крана;
- 3 - 4 - Разбивка кабельных трасс;
- 3 - 7 - Установка и монтаж конструкций под аппараты;
- 3 - 9 - Разметка и подготовка места для электрооборудования;
- 4 - 5 - Установка креплений под кабель;
- 5 - 6 - Прокладка кабеля;
- 7 - 8 - Расстановка аппаратов управления;
- 9 - 10 - Установка креплений для электродвигателей;
- 10 - 11 - Установка электродвигателей;

11 - 12 - Подключение электрооборудования;  
 12 - 13 - Испытание электрооборудования;  
 13 - 14 - Сдача установки в эксплуатацию.

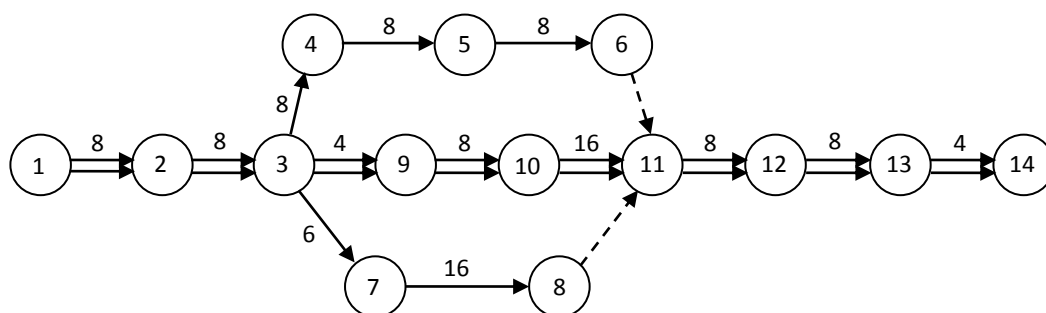


Рисунок 7.1 – Сетевой график монтажа мостового крана.

Рассчитаем продолжительность работы монтажного персонала по каждому пути.

$$L1 = 8 + 8 + 8 + 8 + 8 + 8 + 8 + 4 = 60 \text{ часов,}$$

$$L2 = 8 + 8 + 4 + 8 + 16 + 8 + 8 + 4 = 64 \text{ часа,}$$

$$L3 = 8 + 8 + 6 + 16 + 8 + 8 + 4 = 58 \text{ часа.}$$

Из расчетов видно, что самый большой путь по своей продолжительности работы монтажного персонала это L2, следовательно этот путь будет являться критическим. Обозначим критический путь на сетевом графике монтажа мостового крана двойной стрелкой.

## 7.2 Расчет параметров сетевого графика

Таблица 7.1 – Расчет параметров сетевого графика

| Работа  | Продолжительность работы, ч | Раннее начало, ч | Раннее окончание, ч | Позднее начало, ч | Позднее окончание, ч | Резерв времени |
|---------|-----------------------------|------------------|---------------------|-------------------|----------------------|----------------|
| 1 - 2   | 8                           | 0                | 8                   | 0                 | 8                    | 0              |
| 2 - 3   | 8                           | 8                | 16                  | 16                | 32                   | 0              |
| 3 - 4   | 8                           | 16               | 24                  | 20                | 28                   | 4              |
| 3 - 7   | 6                           | 16               | 22                  | 22                | 28                   | 6              |
| 3 - 9   | 4                           | 16               | 20                  | 32                | 40                   | 0              |
| 4 - 5   | 8                           | 24               | 32                  | 28                | 36                   | 4              |
| 5 - 6   | 8                           | 32               | 40                  | 36                | 44                   | 4              |
| 7 - 8   | 16                          | 22               | 38                  | 28                | 44                   | 6              |
| 9 - 10  | 8                           | 20               | 28                  | 40                | 48                   | 0              |
| 10 - 11 | 16                          | 28               | 44                  | 48                | 64                   | 0              |
| 11 - 12 | 8                           | 44               | 52                  | 44                | 52                   | 0              |
| 12 - 13 | 8                           | 52               | 60                  | 52                | 60                   | 0              |
| 13 - 14 | 4                           | 60               | 64                  | 60                | 64                   | 0              |

## 7.3 Смета капитальных затрат на приобретение и монтаж электрооборудования

### 7.3.1 Построение таблицы капитальных затрат

Таблица 7.2 – Смета капитальных затрат

| Наименование оборудования и марка | Единица измерения | Количество | Стоимость единицы, руб. |                   |                              | Общая стоимость, руб. |                   |                              |
|-----------------------------------|-------------------|------------|-------------------------|-------------------|------------------------------|-----------------------|-------------------|------------------------------|
|                                   |                   |            | Электрооборудование     | Монтажные расходы | В том числе заработная плата | Электрооборудование   | Монтажные расходы | В том числе заработная плата |
| Двигатели:                        |                   |            |                         |                   |                              |                       |                   |                              |
| МТН 411 - 6                       | шт                | 1          | 27000                   | 4050              | 1620                         | 27000                 | 4050              | 1620                         |
| МТН 611 - 6                       | шт                | 1          | 75000                   | 15000             | 7500                         | 75000                 | 15000             | 7500                         |
| МТН 312 - 6                       | шт                | 1          | 19500                   | 2925              | 1170                         | 19500                 | 2925              | 1170                         |
| Резисторы:                        |                   |            |                         |                   |                              |                       |                   |                              |
| 2ТД754.054 – 03                   | шт                | 1          | 600                     | 180               | 90                           | 600                   | 180               | 90                           |
| 2ТД754.054 – 07                   | шт                | 1          | 800                     | 240               | 120                          | 800                   | 240               | 120                          |
| 2ТД754.054 - 06                   | шт                | 1          | 700                     | 210               | 105                          | 700                   | 210               | 105                          |
| Кабель:                           |                   |            |                         |                   |                              |                       |                   |                              |
| ВРГ 3Ч50                          | м                 | 10         | 124,3                   | 37,29             | 12,4                         | 1243                  | 372,9             | 124                          |
| ВРГ 3□Ч50                         | м                 | 100        | 124,3                   | 37,29             | 12,4                         | 12430                 | 3729              | 1240                         |
| ВРГ 3□Ч10                         | м                 | 40         | 30                      | 9                 | 3                            | 1200                  | 360               | 120                          |
| Аппараты защиты:                  |                   |            |                         |                   |                              |                       |                   |                              |
| Автомат АЗ140                     | шт                | 1          | 150                     | 60                | 24                           | 150                   | 60                | 24                           |
| Предохранитель: ПР - 2            | шт                | 3          | 500                     | 200               | 80                           | 1500                  | 600               | 240                          |
| Аппараты управления:              |                   |            |                         |                   |                              |                       |                   |                              |
| Командоконтроллер К-160           | шт                | 1          | 2000                    | 800               | 320                          | 2000                  | 800               | 320                          |
| Контроллер ККТ62                  | шт                | 2          | 1000                    | 400               | 160                          | 2000                  | 800               | 320                          |
| Тормозные устройства:             |                   |            |                         |                   |                              |                       |                   |                              |
| Толкатель ТКТГ300                 | шт                | 1          | 1000                    | 400               | 160                          | 1000                  | 400               | 160                          |
| Толкатель ТКТГ600                 | шт                | 1          | 2000                    | 800               | 320                          | 2000                  | 800               | 320                          |
| Толкатель: ТКТГ400                | шт                | 1          | 1500                    | 600               | 240                          | 1500                  | 600               | 240                          |
| Итого:                            |                   |            |                         |                   |                              | 148623                | 31146,5           | 13713                        |

### **7.3.2 Расчет прочих расходов**

#### **7.3.2.1 Расчет транспортных расходов**

Рассчитаем транспортные расходы  $T_p$ , руб., по формуле

$$T_p = \frac{\text{ЭО} \times 25\%}{100\%}, \text{ руб.} \quad (3.1)$$

где ЭО - Общая стоимость электрооборудования, руб.

$$T_p = \frac{148623 \times 25\%}{100\%} = 37155 \text{ руб.}$$

#### **7.3.2.2 Расчет 6 % накопления от монтажных работ**

Рассчитаем шести процентное накопление от общей стоимости монтажных работ  $H_{mp}$ , руб., по формуле

$$H_{mp} = \frac{MP \times 6\%}{100\%}, \text{ руб.} \quad (3.2)$$

где MP - общая стоимость монтажных работ, руб.

$$H_{mp} = \frac{31146,5 \times 6\%}{100\%} = 1868,79 \text{ руб.}$$

#### **7.3.2.3 Расчет накладных расходов**

Рассчитаем накладные расходы  $H_p$ , руб., в размере 75 % от фонда заработной платы по формуле

$$H_p = \frac{ЗП \times 75\%}{100\%}, \text{ руб.} \quad (3.3)$$

где ЗП - общая стоимость заработной платы, руб.

$$H_p = \frac{13713 \times 75\%}{100\%} = 10284,75 \text{ руб.}$$

#### **7.3.2.4 Расчет сметной стоимости**

Рассчитаем сметную стоимость  $C_c$ , руб., по формуле

$$C_c = T_p + ЭО + МР + Н_{мр} + Н_p \quad (3.4)$$

$$C_c = 37155 + 148623 + 31146,5 + 1868,79 + 10284,75 = 229078,04 \text{ руб.}$$

### 7.3.2.5 Расчет трудоемкости и численности электромонтажников

Таблица 7.3 – Расчет трудоемкости монтажных рабочих

| Наименование оборудования и марка | Единица измерения | Количество | Трудоемкость, чел/час. | Сумма трудоемкости, руб. |
|-----------------------------------|-------------------|------------|------------------------|--------------------------|
| Двигатели:                        |                   |            |                        |                          |
| МТН 312 - 6                       | шт                | 1          | 29                     | 29                       |
| МТН 411 – 6                       | шт                | 1          | 29                     | 29                       |
| МТН 611 - 6                       | шт                | 1          | 37                     | 37                       |
| Резисторы:                        |                   |            |                        |                          |
| 2ТД754.054 – 03                   | шт                | 1          | 3                      | 3                        |
| 2ТД754.054 – 07                   | шт                | 1          | 3                      | 3                        |
| 2ТД754.054 - 06                   | шт                | 1          | 3                      | 3                        |
| Кабель:                           |                   |            |                        |                          |
| ВГР 3Ч50                          | м                 | 10         | 28,08                  | 2,808                    |
| ВРГ 3□Ч50                         | м                 | 100        | 28,08                  | 28,08                    |
| ВРГ 3Ч10                          | м                 | 40         | 24                     | 9,6                      |
| Аппараты защиты:                  |                   |            |                        |                          |
| Автомат А3140                     | шт                | 1          | 5                      | 5                        |
| Предохранитель: ПР - 2            | шт                | 3          | 1                      | 3                        |
| Аппараты управления:              |                   |            |                        |                          |
| Командоконтроллер К-160           | шт                | 1          | 2                      | 2                        |
| Контроллер ККТ62                  | шт                | 2          | 1                      | 2                        |
| Тормозные устройства:             |                   |            |                        |                          |
| Толкатель ТКТГ 600                | шт                | 1          | 4                      | 4                        |
| Толкатель ТКТГ 300                | шт                | 1          | 2                      | 2                        |
| Толкатель: ТКТГ 400               | шт                | 1          | 3                      | 3                        |
| Итого:                            |                   |            |                        | 165,488                  |

### 7.3.2.6 Расчет численности электромонтажников

Рассчитаем численность электромонтажников  $i$ , чел., по формуле

$$i = \frac{\sum T_p}{t \times k} \quad (4.1)$$

где  $\sum T_p$  - общая сумма трудоемкости, чел/час.;

$t$  - время выполнения монтажных работ по критическому пути, час.;

$k$  - коэффициент выполнения норм выработки, ( $k = 1,01$ ).

$$i = \frac{165,488}{64 \times 1,01} = 3 \text{ человека}$$

Опираясь на данные, вышеуказанных расчетов, принимаем три электромонтажника для монтажа оборудования мостового крана.

### 7.3.2.7 Расчет фонда оплаты труда электромонтажников

Таблица 7.4 – Фонд оплаты электромонтажников

| Наименование профессии | Разряд | Кол-во чел-век | Тарифная ставка, руб. | Фонд рабочего времени, час. | Прямая зарплата, руб. | Доплата, руб. | Основная зарплата, руб. | Дополнительная зарплата, руб. | Итого зарплата, руб. | Районный коэффициент | Всего зарплата, руб. |
|------------------------|--------|----------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|---------------|-------------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Электрик монтажник     | 5      | 1              | 20,78                 | 64                          | 1329,92               | 398,97        | 1728,9                  | 259                           | 1987,89              | 1192,7               | 3180,59              |
| Электрик монтажник     | 4      | 2              | 18,36                 | 64                          | 2350,08               | 705,02        | 3055,1                  | 458                           | 3513,1               | 2107,7               | 5620,96              |
| Итого:                 |        |                |                       |                             | 3680                  | 1103,99       | 4784                    | 717                           | 5499,99              | 3300,6               | 8801,55              |

### 7.3.2.8 Расчет эксплуатационных затрат

Таблица 7.5 – Амортизационные отчисления на электрооборудование

| Наименование оборудования и марка | Сметная стоимость, руб. | Норма амортизации, % | Сумма амортизации, руб. |
|-----------------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|
| Двигатели:                        |                         |                      |                         |
| МТН 411 - 6                       | 27000                   | 8                    | 2160                    |
| МТН 611 - 6                       | 75000                   | 8                    | 6000                    |
| МТН 312 - 6                       | 19500                   | 8                    | 1560                    |
| Резисторы:                        |                         |                      |                         |
| 2ТД754.054 – 03                   | 600                     | 10                   | 60                      |
| 2ТД754.054 – 07                   | 800                     | 10                   | 80                      |
| 2ТД754.054 - 06                   | 700                     | 10                   | 70                      |
| Кабель:                           |                         |                      |                         |
| ВРГ 3Ч50                          | 1243                    | 5                    | 62,15                   |
| ВРГ 3□Ч50                         | 12430                   | 5                    | 621,5                   |
| ВРГ 3□Ч10                         | 1200                    | 5                    | 60                      |
| Аппараты защиты:                  |                         |                      |                         |
| Автомат АЗ140                     | 150                     | 10                   | 15                      |
| Предохранитель: ПР - 2            | 1500                    | 25                   | 375                     |
| Аппараты управления:              |                         |                      |                         |
| Командоконтроллер К -160          | 2000                    | 10                   | 200                     |
| Контроллер ККТ62                  | 2000                    | 7                    | 140                     |
| Тормозные устройства:             |                         |                      |                         |
| Толкатель ТКТГ 600                | 320                     | 6                    | 19,2                    |
| Толкатель ТКТГ 300                | 160                     | 6                    | 9,6                     |
| Толкатель: ТКТГ 400               | 240                     | 6                    | 14,4                    |
| Итого:                            |                         |                      | 11446,9                 |

### 7.3.2.9 Расчет расходов на текущий ремонт электрооборудования

Рассчитаем расходы на текущий ремонт электрооборудования  $\Sigma T_p$ , руб., в размере сорока процентов от суммы амортизационных отчислений по формуле

$$\Sigma T_p = \frac{\Sigma A \times 40\%}{100\%}, \text{ руб.} \quad (6.1)$$

где  $\Sigma A$  - сумма амортизационных отчислений, руб.

$$\Sigma T_p = \frac{11446,9 \times 40\%}{100\%} = 4578,8 \text{ руб.}$$

### 7.3.2.10 Расчет численности и фонда оплаты труда эксплуатационного персонала

Исходя из фактических данных для обслуживания мостового крана грузоподъемностью тридцать тонн на заводе красного кирпича, принимаем одного дежурного электрика в смену, при трехсменном режиме работы.

Таблица 7.6 – Расчет эффективного фонда рабочего времени

| Показатели                             | Длительность              |
|--|---------------------------|
| Календарный фонд                       | 365 дней                  |
| Выходные и праздничные дни             | 98+8 праздничных 106 дней |
| Номинальный фонд                       | 259                       |
| Неявки на работу, разрешенные законом: |                           |
| Отпуск                                 | 30 дней                   |
| Болезни                                | 4 дня                     |
| Прочие неявки                          | 3 дня                     |
| Эффективный фонд рабочего времени:     |                           |
| в днях                                 | 222 дня                   |
| в часах                                | 1776 часов                |
| Коэффициент списочного состава         | 1,17                      |

Рассчитаем списочную численность  $Ч_{\text{спис}}$ , чел., по формуле

$$Ч_{\text{спис}} = Ч_{\text{яв}} \cdot Ч_{\text{тсм}} \cdot Ч_{\text{кспис}} \quad (6.2)$$

где  $Ч_{\text{яв}}$  - явочная численность, чел.;

$Ч_{\text{тсм}}$  - количество смен;

$Ч_{\text{кспис}}$  - коэффициент списочного состава.

$$Ч_{\text{спис}} = 1 \cdot 2 \cdot 1,17 = 2 \text{ человека}$$



### 7.3.2.11 Расчет фонда оплаты труда дежурных электриков

Для удобства расчета фонда оплаты труда построим таблицу

Таблица 7.7 – Расчет фонда оплаты труда дежурных электриков

| Количество | Разряд | Тарифная ставка | Эффективный фонд времени | Прямая зарплата | Доплаты      |                   |              |             | Основная зарплата, руб. | Дополнительная зарплата, руб. | Итого, руб. | Расчетный коэффициент | Всего зарплата, руб. |
|------------|--------|-----------------|--------------------------|-----------------|--------------|-------------------|--------------|-------------|-------------------------|-------------------------------|-------------|-----------------------|----------------------|
|            |        |                 |                          |                 | Ночные, руб. | Праздничные, руб. | Премии, руб. | Всего, руб. |                         |                               |             |                       |                      |
| 2          | 4      | 18,36           | 1776                     | 65124,8         | 26086        |                   |              |             | 91300,8                 | 13695,2                       | 104996      | 62997,6               | 167993,6             |
| Итого:     |        |                 |                          | 65124,8         | 26086        |                   |              |             | 91300,8                 | 13695,2                       | 104996      | 62997,6               | 167993,6             |

### 7.3.2.12 Расчет социального налога

Рассчитаем социальный налог  $H_{соц}$ , руб., в размере тридцати пяти целых шести десятых процента от фонда заработной платы по формуле

$$H_{соц} = \frac{\Phi_{от} \times C_n}{100\%}, \text{ руб.} \quad (6.3)$$

где  $\Phi_{от}$  - фонд оплаты труда рабочих электриков, руб.  
 $C_n$  - ставка налога, ( $C_n = 26\%$ ).

$$H_{соц} = \frac{167993,7 \times 26\%}{100\%} = 43678,4 \text{ руб.}$$

Таблица 7.8 – Расчет эксплуатационных расходов

| Показатели                           | Количество | Цена, руб. | Сумма руб. |
|--------------------------------------|------------|------------|------------|
| Стоимость энергии:                   |            |            |            |
| Согласно расчетам                    | 268800     | 2,22       | 596736     |
| Дополнительная энергия               | 18000      | 0,85       | 15300      |
| Амортизация электрооборудования      |            |            | 11446,9    |
| Расходы на текущий ремонт            |            |            | 4578,8     |
| Фонд оплаты труда рабочих электриков |            |            | 167993,6   |
| Социальный налог                     |            |            | 4367,84    |
| Общехозяйственные расходы            |            |            | 84779,3    |
| Итого:                               |            |            | 885202,44  |

Стоимость монтажа электрооборудования мостового крана составляет 31146,5 руб. Монтаж ведется согласно сетевого графика. Ход выполнения электромонтажных работ, можно задержать на следующих участках:

3 - 4 Разбивка кабельных трасс;

- 3 - 7 Установка и монтаж конструкций под аппараты;
- 4 - 5 Установка креплений под кабель;
- 5 - 6 Прокладка кабеля;
- 7 - 8 Расстановка аппаратов управления.

Общий резерв времени по сетевому графику составляет десять часов.

Таблица 7.9 – Сметная стоимость монтажа электрооборудования

|                                       |              |
|---------------------------------------|--------------|
| Сметная стоимость электрооборудования | 148623 руб.  |
| Монтажные работы                      | 31146,5 руб. |
| Фонд оплаты труда                     | 8801,6 руб.  |

Таким образом, монтаж электрооборудования мостового крана грузоподъемностью 20 т, сметной стоимостью электрооборудования 229078,04 рублей, производится за шестьдесят четыре часа комплексной бригадой состоящей из двух электромонтажников четвертого разряда и одного электромонтажника пятого разряда, фонд заработной платы которых составляет 8801,6 рублей.

## Литература

1. Специальные грузоподъемные машины: Учеб. пособие для вузов: В 8 кн. / Ред. Никитин К. Д.; Красноярский гос. техн. ун-т.- Красноярск: Изд-во красноярского гос. техн. ун-та, 2005.- (Подъемно-транспортная техника). Кн. 3: Мостовые металлургические краны / Никитин К. Д., Смолин А.Ю.- 2005.- 200 с.
2. Специальные грузоподъемные машины: Учеб. пособие для вузов: В 8 кн. / Ред. Никитин К. Д.; Красноярский гос. техн. ун-т.- Красноярск: Изд-во красноярского гос. техн. ун-та, 2005.- (Подъемно-транспортная техника). Кн. 4: Козловые краны и мостовые перегружатели. Краны кабельного типа / Кобзев А.П., Пономарев В.П.- 2005.- 140 с.
3. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины -М.: Машиностроение, 1983. 487 с.
4. Кружков В. А. Металлургические подъемно-транспортные машины: Учебник для вузов.-2-е изд., перераб. и доп.-М.:Металлургия, 1989.- 462 с.
5. Электропривод грузоподъемных кранов / Певзнер Е.М., Попов Е.В., Аксенов М.И., Онищенко Г.Б.- М.: Россельхозакадемия, 2006.- 166 с.
6. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. ПБ 10-382-00: Утв. постановл. Госгортехнадзора России от 31.12.99 г. № 98 / Федеральный горный и промышленный надзор России.- СПб.: ДЕАН, 2007.- 267 с.
7. Тайц В.Г. Безопасная эксплуатация грузоподъемных машин: Учеб. пособие для вузов.- М.: Академкнига, 2005.- 383 с.
8. Александров М.П. Подъемно-транспортные машины -М.: Машиностроение, 1983. 282 с.
9. Богинская К.С., Зотов Ф.С., Николаевский Г.М. Мостовые и металлургические краны. - М.: Машиностроение, 1976. - 300 с.
10. Вайнсон А.А. Подъемно-транспортные машины: Учебник для вузов. 4е изд., перераб. и доп.-М.:Машиностроение, 1989.-535 с.
11. Справочник по кранам: В 2 т. / Под общ. ред. М.М. Гохберга. - Л.: Машиностроение, 1988. - Т.1: 536 с.; Т.2: 560 с.
12. Зуев Ф.Г., Лотков Н.А. Грузоподъемные машины: Учебник для вузов.- М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э. Баумана: Высш.шк., 2000.- 550 с.:
13. Специальные грузоподъемные машины: Учеб. пособие для вузов: В 8 кн. / Ред. Никитин К. Д.; Красноярский гос. техн. ун-т.- Красноярск: Изд-во красноярского гос. техн. ун-та, 2005.- (Подъемно-транспортная техника). Кн. 4: Козловые краны и мостовые перегружатели. Краны кабельного типа / Кобзев А.П., Пономарев В.П.- 2005.- 140 с.
14. Подъемно-транспортные машины. Атлас конструкций / Под ред. М.П. Александрова и Д.Н. Решетова. 2-ое изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1987. - 122 с.
15. Петухов П.З., Ксюнин Г.П. Специальные краны. -М.: Машиностроение, 1985. 239 с.

16. Степыгин В.И., Чертов Е.Д., Елфимов С.А. Проектирование подъемно-транспортных установок: Учеб. пособие для вузов. - М.: Машиностроение, 2005.- 287 с.
17. Богорад А. А. Грузоподъемные и транспортные машины -М.: Металлургия, 1989. 415 с.
18. Додонов Б.П., Лифанов В.А. Грузоподъемные и транспортные устройства -М.: машиностроение, 1984. 135 с.
19. Казак С.А., Котов В.И., Петухов П.З. и др. Расчеты металлургических кранов - М.: Машиностроение , 1973. 263 с.
20. Расчеты крановых механизмов и их деталей. ВНИИПТМАШ. Изд. 3-е, переработанное и дополненное -М.: Машиностроение, 1971. 496 с.
21. Павлов Н.Г. Примеры расчетов кранов. Изд. 4-е, перераб. и доп. -Л.: Машиностроение, 1976. 320 с.
22. Шеффлер М., Пайер Г., Курт Ф. Основы расчета и конструирования подъемно-транспортных машин. Пер. с нем. -М.: Машиностроение, 1980. 255 с.
23. Кузьмин А.В. Справочник по расчетам механизмов подъемнотранспортных машин / А.В. Кузьмин, Ф.Л. Марон - Минск: Высшая школа, 1983. - 350 с.
24. Невзоров Л.А. Устройство и эксплуатация грузоподъемных кранов: Учебник. - М.: Издательский центр «Академия», 2004. - 448 с.
25. Грузоподъемные краны: В 2-х кн. Сокр. пер. с нем. / Пер. М.М. Рунова, В.Н. Федосеева; под ред. М.П. Александрова. - М.: Машиностроение, 1981. - Кн. 1: 216 с.; Кн. 2: 238 с.
26. Б.М. Рапутов Электрооборудование кранов металлургических предприятий. М. Металлургия, 1990. -283 с.
27. А.Г. Яуре, Е.М. Певзнер Крановый электропривод справочник М. Энергоатом Издательство. 1988г. 311 с.